

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

(повна назва інституту)

Кафедра електропостачання

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК 621.311

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ В.А. Попов

«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

спеціалізації Системи забезпечення споживачів електричною енергією

на тему: «Оптимізація структури установок фотоелектричних станцій з метою забезпечення нормативних показників якості електричної енергії»

Виконав : студент II курсу, групи ОЕ-381мп

_____ Пустовий Андрій Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник к.т.н., стар.викл. Веремійчук Ю.А.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Консультант нормоконтроль ас. Прокопенко І.Д.

(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент Пустовий А.М.

Київ – 2019 р.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра електропостачання

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Спеціалізація «Системи забезпечення споживачів електричною енергією»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ В.А. Попов

« ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію

студенту _____ Пустовому Андрію Миколайовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема дисертації** «Оптимізація структури установок фотоелектричних станцій з метою забезпечення нормативних показників якості електричної енергії» Науковий керівник дисертації к.т.н., стар.викл. Веремійчук Ю.А.

затверджена наказом по університету від “ 4 ” листопада 2019р. № 3816-с

2. **Термін подання** студентом дисертації 13 грудня 2019 року

3. **Об'єкт дослідження** процеси організації приєднання обладнання ФЕС до ОСР

4. **Предмет дослідження** методи та засоби підвищення ефективності організації приєднання об'єкта альтернативної енергетики

5. **Перелік завдань, які потрібно розробити** Провести системний аналіз нормативно-правових та технологічних питань з організації приєднання об'єкта альтернативної енергетики до ОСР, визначити підхід та провести формалізацію задач підвищення ефективності функціонування ОСР в частині приєднання ФЕС до електричних мереж, здійснити практичну реалізацію алгоритмів оцінки можливостей забезпечення нормативних показників якості електричної енергії при приєднанні до ОСР ФЕС.

6. **Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу** розрахунок сценаріїв дисертаційної роботи за результатами досліджень

7. **Орієнтовний перелік публікацій:** одна наукова стаття яка опублікована в збірнику з XIV Міжнародна конференція Контроль і

управління в складних системах (КУСС-2018) Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 15-17 жовтня 2018 року, а також доповідь на II науково – технічній конференції магістрантів ІЕЕ 21 листопада 2019 року.

8. Консультанти розділів дисертації

Нормоконтроль ас. Прокопенко І.Д.

9. Дата видачі завдання 31 травня 2019 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1			
2			
3			
4	Розробка стартап проекту		
5	Оформлення дисертації		
6	Оформлення реферату та презентації	30.10.19-10.12.19	
8	Захист дисертації	16.12.19-20.12.19	

Студент

(підпис)

Пустовий А.М.

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник

(підпис)

к.т.н., стар. викл. Веремійчук Ю.А.

РЕФЕРАТ

Структура та обсяг роботи. Пояснювальна записка магістерської дисертації виконана на 00 сторінках формату А4, яка включає в себе 35 рисунків, 29 таблиць, 20 бібліографічних найменувань за переліком посилань та 00 додатків.

Актуальність роботи. Останній час у світі спостерігається стійке зацікавлення проблемами використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), особливо у контексті їх роботи в об'єднаній системі розподілу. Актуальність роботи пов'язана з швидкою розбудовою джерел розподіленої генерації, а також через те що ОСР будувалася для умов централізованого електропостачання, а розвиток в них ВДЕ створює нові проблеми і ставить задачі.

Актуальність розглянутого питання полягає в тому, що особливості роботи ВДЕ характеризуються непостійністю енергетичного потенціалу та використання в них великої кількості електротехнічних перетворювачів електроенергії, призначених для забезпечення необхідних параметрів електроенергії в ОСР, викликають низку питань, пов'язаних з оцінюванням ефективності регулювання енергетичних процесів у зазначених системах.

Питанням інтеграції та регулювання ВДЕ в ОСР займаються вчені, серед яких можна виділити: Лежнюк П.Д., Козирський В.В., Попов В.А., Рибак В.П., та інші.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є підвищення ефективності функціонування ОСР в частині приєднання ФЕС, шляхом оптимізації структури електроустановок. Для досягнення мети, поставлено такі **основні задачі**:

- 1) Провести системний аналіз нормативно-правових та технологічних питань з організації приєднання об'єкта альтернативної енергетики до ОСР.

2) Визначити підхід та провести формалізацію задач підвищення ефективності функціонування ОСР в частині приєднання ФЕС до електричних мереж.

3) Здійснити практичну реалізацію алгоритмів оцінки можливостей забезпечення нормативних показників якості електричної енергії при приєднанні до ОСР ФЕС.

Об'єктом дисертаційної роботи є процеси організації приєднання обладнання ФЕС до ОСР.

Предметом дослідження є методи та засоби підвищення ефективності організації приєднання об'єкта альтернативної енергетики.

Методи дослідження: аналіз, моделювання, порівняння, узагальнення

Наукова новизна одержаних результатів:

Наукова новизна роботи полягає у проведенні дослідження нормативно–правових, технологічних питань з урахуванням особливості експлуатації ФЕС.

Практична цінність одержаних результатів:

Практична цінність полягає у формуванні пропозиції по забезпеченню нормативних показників якості електричної енергії при приєднанні до ОСР ФЕС.

Апробація:

Участь у II Науково-технічній конференції магістрантів інституту енергозбереження та енергоменеджменту пам'яті професора Василя Миколайовича Винославського – Київ: ІЕЕ, 2019.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Пустовий А. М. Розрахунок оптимальної ємності накопичувача для комплексу “Відновлюване джерело-акумулятор” XIVІ Міжнародна конференція Контроль і управління в складних системах (КУСС-2018) Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 15-17 жовтня 2018 року.

2. Пустовий А. М. Розрахунок оптимальної ємності накопичувача для комплексу “відновлюване джерело-акумулятор” Збірник наукових праць ІЕЕ, КПІ імені Ігоря Сікорського – Київ: ІЕЕ, 2019. – 72 с

КЛЮЧОВІ СЛОВА: об’єднана система розподілу, якість електроенергії, фотоелектрична станція.

ABSTRACT

Structure and scope of work. The explanatory note for the master's thesis is made on 93 pages of A4 size, which includes 45 figures, 27 tables, 33 sources of used literature and 21 attachments.

Relevance of work. Recently, there has been a steady interest in renewable energy in the world, especially in the context of their work in a unified distribution system. The urgency of the work is linked to the rapid development of distributed generation sources, as well as the fact that the unified distribution system was built for the conditions of centralized electricity supply, and the development of renewable energy sources in them creates new problems and challenges.

The urgency of this issue is that the features of renewable energy are characterized by volatility of energy potential and the use of a large number of electrical power converters, designed to provide the necessary parameters of electricity in the unified distribution system, raise a number of issues related to the evaluation of energy efficiency regulation processes in these systems.

The issues of integration and regulation of renewable energy sources in the unified distribution system are addressed by scientists, among whom there are: P. Lezhniuk, V. Kozirsky, V. Popov, V. Rybak and others.

The purpose and objectives of the study. The purpose of the study is to increase the efficiency of the operation of the integrated distribution system in the connection of the photoelectric station, by optimizing the structure of electrical installations. To achieve this goal, the following main tasks are set:

- 1) Conduct a systematic analysis of regulatory and technological issues related to the organization of connection of an alternative energy facility to a unified distribution system.

- 2) Determine the approach and formalize the problems of increasing the efficiency of operation of the integrated distribution system in terms of connection of the photovoltaic power station to the electrical networks.

3) To carry out practical implementation of algorithms of estimation of possibilities of providing of normative indexes of quality of electric energy at connection to the unified system of distribution of the photoelectric station.

The object of the dissertation is the processes of organizing the connection of photoelectric power station equipment to the integrated distribution system.

The subject of the research is methods and means of increasing the efficiency of the organization of connection of the object of alternative energy.

Research Methods: used in the scientific and methodological basis of the performed research are: modeling, forecasting, analysis, probability theory, comparison, generalization.

Scientific novelty of the obtained results:

The scientific and practical value of the work is to conduct a study of regulatory legal, technological issues and to formulate a proposal to ensure the normative indicators of the quality of electricity when connected to a unified photovoltaic power distribution system.

Testing of results of work. The results of the research of the master's theses were presented at the II Scientific and Technical Conference of the undergraduate students of IEE (according to the results of the dissertation researches of the undergraduates). Coll. scientific works of IEE, KPI named after Igor Sikorsky - Kiev: IEE, 2019

LIST OF PUBLISHED PAPERS ON THE DISSERTATION

1. A. Pustovyi Calculation of the optimal storage capacity for the complex "Renewable Battery" XVI International Conference Control and Management in Complex Systems (KUSS-2018) Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, October 15-17, 2018.

2. A. Pustovyi. Calculation of the optimal energy capacity of the drive for the complex "renewable source-battery" Collection of scientific works of IEE, KPI named after Igor Sikorsky - Kiev: IEE, 2019. - 72 p.

KEYWORDS: uniform system of distribution, quality of electricity, photo and electrical station.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ СКОРОЧЕНЬ	11
ВСТУП.....	12
1 АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ПОТУЖНОСТЕЙ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В ЕНЕРГОБАЛАНСІ УКРАЇНИ ТА СТРУКТУРНІ ЕЛЕМЕНТИ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК НА ПРИКЛАДІ СЕС.....	14
1.1 Аналіз структури потужностей відновлюваних джерел енергії в енергобалансі України	14
1.2 Структурні елементи електроустановок СЕС	17
1.2.1 Аналіз електротехнічних характеристик фотоелектричних модулів	18
1.2.2 Принципи роботи та експлуатаційні характеристики інверторів	21
1.3 Аналіз впливу зовнішніх чинників на роботу ФЕМ	26
1.4 Аналіз електротехнічних критеріїв інверторів при зміні режимів роботи ФЕМ	28
1.5 Вплив режимів роботи інверторів на роботу трансформаторів	29
Висновок до розділу.....	30
2 АНАЛІЗ ЗАСОБІВ ТА ЗАХОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НОРМАТИВНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	31
2.1 Заходи щодо забезпечення нормативних показників якості електричної енергії.....	31
2.2 Засоби щодо забезпечення нормативних показників якості електричної енергії.....	33
2.2.1 Компенсація реактивної потужності	33
2.2.2 Акумуляування електроенергії	34
2.3 Алгоритм розрахунку оптимальної ємності накопичувача для комплексу “відновлюване джерело-акумулятор”	35
Висновки до розділу	41
3 ВИКОРИСТАННЯ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НОРМАТИВНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	42
3.1 Визначення роботи СЕС за умови керування попитом	42
3.2 Розрахунок сценарію при умові дотримання встановленого/фіксованого ГЕН	50

Висновок до розділу	54
4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ НА ОСНОВІ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	55
4.1 Мета та завдання розділу	55
4.2 Опис ідеї проекту	56
4.3 Розроблення ринкової стратегії	57
4.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	58
4.4.1 Аналіз попиту	58
4.4.2 Потенційні групи клієнтів	59
4.4.3 Аналіз ринкового середовища	59
4.4.4 Загальні риси конкуренції на ринку	60
4.4.5 Аналіз умов конкуренції в галузі	61
4.4.6 Фактори конкурентоспроможності	62
4.4.7 Аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту	63
4.4.8 SWOT-аналіз	63
4.4.9 Альтернативи ринкової поведінки	64
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	65
4.5.1 Формування маркетингової концепції товару	65
4.5.2 Трирівнева маркетингова модель	66
4.5.3 Встановлення цінових меж	67
4.5.4 Формування системи збуту	67
4.5.5 Концепція маркетингових комунікацій	68
Висновок до розділу	68
ВИСНОВКИ	70
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	72
ДОДАТКИ	Ошибка! Закладка не определена.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ СКОРОЧЕНЬ

- СЕС – сонячна електростанція
РП – розподільчий пункт
ОЕС – об’єднана енергетична система
ФЕМ – фотоелектричний модуль
КЛ – кабельні лінії
АС – змінний струм
ДС – постійний струм
АБ – акумуляторна батарея
ВАХ – вольт-амперна характеристика
ЕЕ – електрична енергія
НЕ – накопичувач енергії
ЯЕЕ – якість електричної енергії
ПЗ – програмне забезпечення

ВСТУП

Актуальність роботи. Останній час у світі спостерігається стійке зацікавлення проблемами використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), особливо у контексті їх роботи в об'єднаній системі розподілу. Актуальність роботи пов'язана з швидкою розбудовою джерел розподіленої генерації, а також через те що ОСР будувалася для умов централізованого електропостачання, а розвиток в них ВДЕ створює нові проблеми і ставить задачі.

Актуальність розглянутого питання полягає в тому, що особливості роботи ВДЕ характеризуються непостійністю енергетичного потенціалу та використання в них великої кількості електротехнічних перетворювачів електроенергії, призначених для забезпечення необхідних параметрів електроенергії в ОСР, викликають низку питань, пов'язаних з оцінюванням ефективності регулювання енергетичних процесів у зазначених системах.

Питанням інтеграції та регулювання ВДЕ в ОСР займаються вчені, серед яких можна виділити: Лежнюк П.Д., Козирський В.В., Попов В.А., Рибак В.П., та інші.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є підвищення ефективності функціонування ОСР в частині приєднання ФЕС, шляхом оптимізації структури електроустановок. Для досягнення мети, поставлено такі **основні задачі**:

1) Провести системний аналіз нормативно-правових та технологічних питань з організації приєднання об'єкта альтернативної енергетики до ОСР.

2) Визначити підхід та провести формалізацію задач підвищення ефективності функціонування ОСР в частині приєднання ФЕС до електричних мереж.

3) Здійснити практичну реалізацію алгоритмів оцінки можливостей забезпечення нормативних показників якості електричної енергії при приєднанні до ОСР ФЕС.

Об'єктом дисертаційної роботи є процеси організації приєднання обладнання ФЕС до ОСР.

Предметом дослідження є методи та засоби підвищення ефективності організації приєднання об'єкта альтернативної енергетики.

Наукова новизна одержаних результатів:

Наукова та практична цінність роботи полягає у проведенні дослідження нормативно–правових, технологічних питань та формуванні пропозиції по забезпеченню нормативних показників якості електричної енергії при приєднанні до ОСР ФЕС.

1 АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ПОТУЖНОСТЕЙ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В ЕНЕРГОБАЛАНСІ УКРАЇНИ ТА СТРУКТУРНІ ЕЛЕМЕНТИ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК НА ПРИКЛАДІ СЕС

1.1 Аналіз структури потужностей відновлюваних джерел енергії в енергобалансі України

Сучасна енергетика в основному базується на невідновлювальних джерелах енергії, які, маючи обмежені запаси, є вичерпними і не можуть гарантувати стійкий розвиток світової енергетики на тривалу перспективу, а їх використання – один з головних факторів, який призводить до погіршення стану навколишнього середовища і його кризового стану.

Починаючи з 2004 року в світі суттєво зросли капіталовкладення у розвиток альтернативної енергетики. Це призвело до того, що за останні роки щорічні показники приросту виробництва сонячної енергії у світі в середньому оцінюють у 60%, вітрової – 27%. В планах країн Євросоюзу до 2020 року довести використання нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії до 20% загального обсягу їхнього енергетичного балансу [1].

Україна не залишилась осторонь світових тенденцій. На сьогодні, за рахунок державного субсидіювання виробників електроенергії з ВДЕ, спостерігається інтенсивна розбудова відновлюваних джерел енергії, які під'єднуються до електроенергетичної системи на рівні розподільних електричних мереж, що призводить до поступового переходу від суто централізованої моделі електропостачання споживачів, основою якої є потужні ТЕС і АЕС, до комбінованої, коли частина електроенергії виробляється розосередженими джерелами.

Одним із пріоритетних напрямків впровадження в Україні принципів побудови енергетики сталого розвитку є модернізація енергетичних систем на основі Smart Grid технологій. Такі технології включають в якості невід'ємної складової впровадження джерел розосередженої генерації (РГ), часто

заснованих на нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії (НВДЕ). Проаналізувавши звіти ДП «НЕК «УКРЕНЕРГО» можна відобразити наступний графік (рис 1.1), який покаже загальну потужність відновлюваної енергетики [2]:

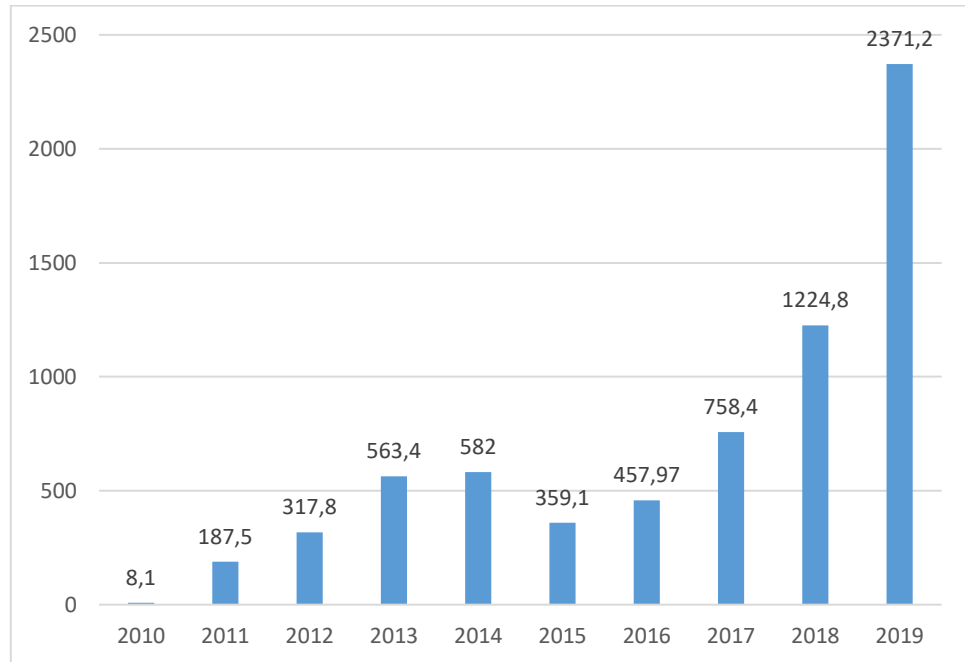


Рисунок 1.1 – Генерації ВДЕ у складі ОЕС України

За оперативними даними НЕК, загальна встановлена потужність ВДЕ, станом на кінець серпня 2019 р, становить 3114,9 МВт, та розподіляється по технологіям генерації в такому співвідношенні (див. рис. 1.2):

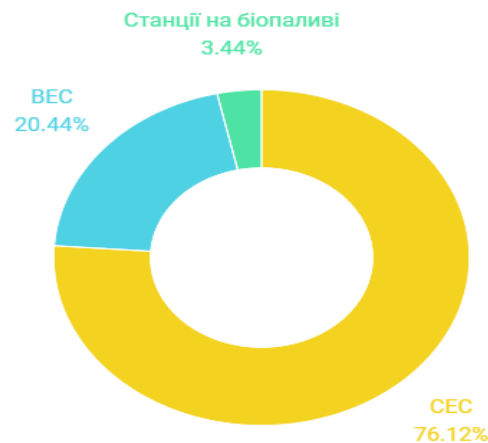


Рисунок 1.2 – Співвідношення потужності ВДЕ по технологіям генерації [3]

Для наглядного представлення темпів розвитку СЕС, проведемо аналіз зростання об'ємів встановлених потужностей СЕС у порівнянні з попереднім періодом (див. рис. 1.3).

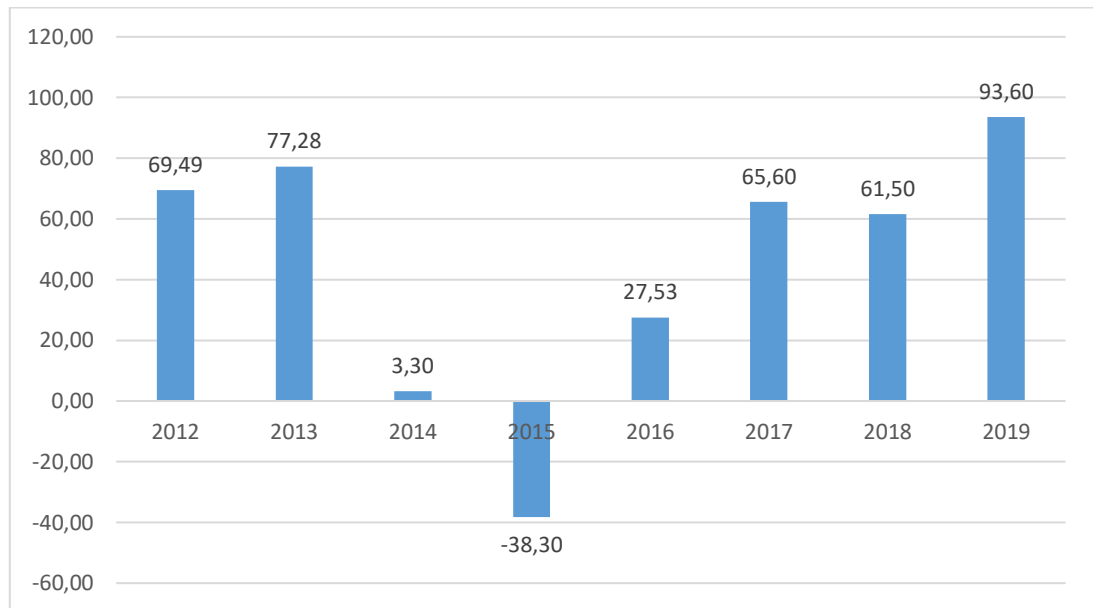


Рисунок 1.3 – Зростання об'ємів встановлених потужностей СЕС [4]

Як бачимо з рисунку 1.3, в більшості періодів, приріст з попереднім періодом складає понад 60%, однак можемо помітити три періоди, які не відповідають загальному тренду. Якщо 2014 р. можна пояснити плановим зменшенням ставки субсидіювання, яка закріплена в Законі України «Про електроенергетику», то показник 2015 р. пояснюється анексією пів-острова Крим, який є найбільш придатним для роботи СЕС, в географічному плані, також енергосистема півострову є дефіцитною так як не має в своєму складі великих генеруючих об'єктів. Показник 2016 р. пояснюється відновленням інвестиційного клімату в Україні після внесення змін в стратегію розвитку [5].

В той час, в енергобалансі України СЕС, у відсотковому відношенні займають (див. рис.1.4):



Рисунок 1.4 – Частка СЕС в енергобалансі України [6]

1.2 Структурні елементи електроустановок СЕС

СЕС є енергетичним об'єктом, що здійснює відпуск електричної енергії; який за своєю структурою містить такі основні елементи структури [7]:

- 1) Енергоносій – речовини в різних агрегатних станах чи іншої форми матеріального середовища, що мають в собі енергетичний потенціал, тобто можуть бути використані для виробництва енергії.
- 2) Генеруючі елементи – пристрої/агрегати, які у взаємодії з енергоносіями здійснюють виробництво електричної енергії.
- 3) Перетворювачі – електротехнічні пристрої, завданням яких є зміна параметрів електричної енергії, для її стандартизації за визначеними параметрами (напруги, частоти, форми сигналу).
- 4) Внутрішню електричну мережу – елементи електричної мережі, які проводять електричний струм між елементами енергетичного об'єкту.
- 5) Власне навантаження – споживання енергогенеруючого об'єкту, що пов'язане з покриттям потреб виробництва.

1.2.1 Аналіз електротехнічних характеристик фотоелектричних модулів

Фотоелектричні модулі являються генеруючими елементами СЕС.

Фотоелемент – напівпровідниковий пристрій, виконаний у вигляді р-п переходу, що генерує потік електронів при потраплянні на нього сонячного випромінювання. Процес генерації схематично зображений на рисунку 1.5.

Сонячна батарея складається з фотоелементів, з'єднаних послідовно і паралельно. Всі фотоелементи розташовуються на каркасі з непровідних матеріалів. Така конфігурація дозволяє збирати сонячні батареї необхідних характеристик (струму і напруги). Крім того, це дозволяє замінювати фотоелементи, що вийшли з ладу дуже просто.

Принцип роботи фотоелементів, з яких складається сонячна батарея, заснований на фотогальванічному ефекті. Такий спосіб отримання електрики повинен бути найбільш ефективним, тому що є одноступінчастим. У порівнянні з іншою технологією перетворення сонячної енергії через термодинамічний перехід (Промені → Нагрівання води → Пар → Обертання турбіни → Електрика), менше енергії втрачається на переходи [8].

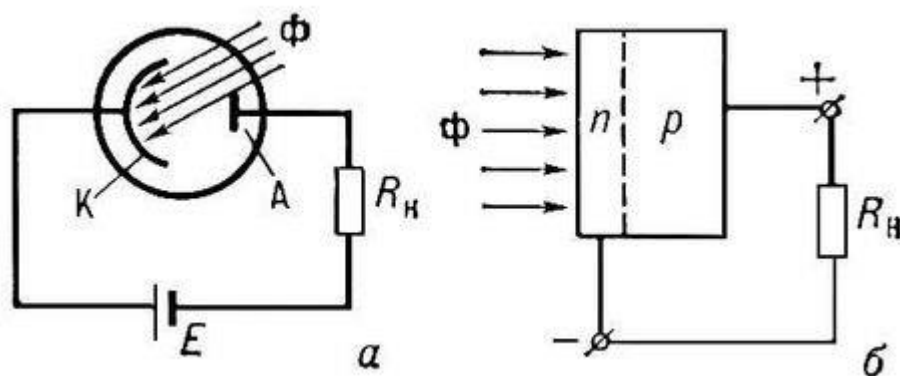


Рисунок 1.5 – Будова фотоелементу

Фотоелемент на основі напівпровідників складається з двох шарів (див. рис. 1.5) з різною провідністю. До шарів з різних сторін підпаюють контакти, які використовуються для підключення до зовнішньої ланцюга. В якості

катода виступає шар з n-провідністю (електронна провідність), а роль анода - р-шар (діркова провідність).

Струм в n-шарі створюється рухом електронів (див. рис. 1.6), які «вибиваються» при попаданні на них світла за рахунок фотоефекту. Струм в р-шарі створюється «рухом дірок». «Дірка» – атом, який втратив електрон, відповідно, перескакування електронів з «дірки» на «дірку» створює «рух» дірок, хоча в просторі самі «дірки» не рухаються.

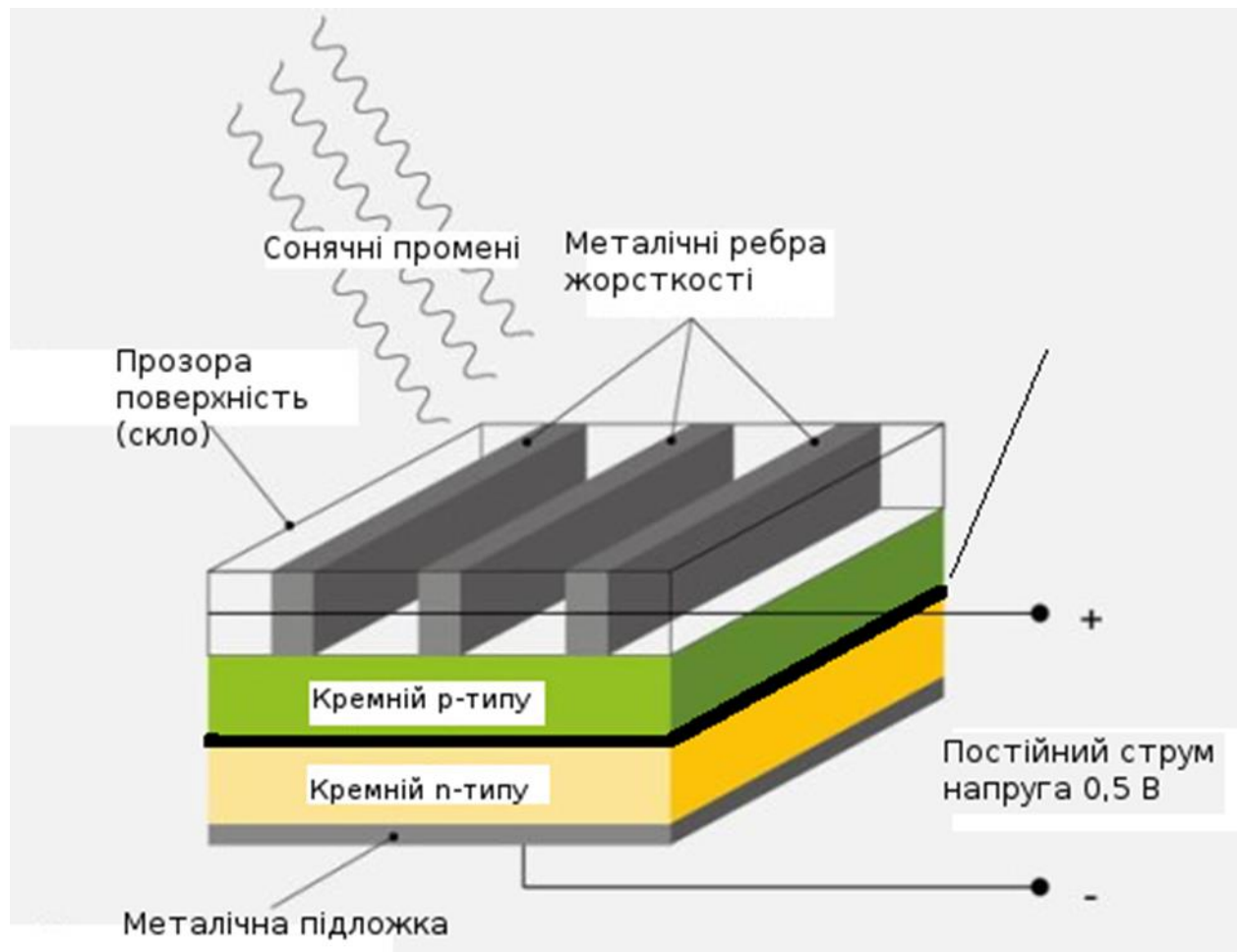


Рисунок 1.6 – Схематичне зображення процесу генерації ФЕМ [9]

На стику шарів з n- і р-провідністю створюється р-n-перехід. Виходить свого роду діод, який може створювати різницю потенціалів за рахунок потрапляння променів світла.

Коли промені світла потрапляють на n-шар, за рахунок фотоефекту утворюються вільні електрони. Крім цього, вони отримують додаткову

енергію і здатні «перестрибнути» через потенційний бар'єр р-n-переходу. Концентрація електронів і дірок змінюється і утворюється різниця потенціалів. Якщо замкнути зовнішній ланцюг через неї почне протікати струм.

Різниця потенціалів (а відповідно і ЕРС) яку може створювати фотоелемент залежить від багатьох чинників: інтенсивності сонячного випромінювання, площі фотоелемента, ККД конструкції, температури (при нагріванні провідність падає) [10].

Розглядаючи електричні параметри ФЕМ, та основі технічного паспорту ФЕМ (див. додаток А), зустрінемо наступні електричні параметри:

- P_{MAX} (W) – максимальна потужність
- V_{MPP} (V) – напруга при максимальній потужності
- I_{MPP} (A) – струм при максимальній потужності
- V_{OC} (V) – напруга холостого ходу
- I_{SC} (A) – струм короткого замикання
- η_m (%) – коефіцієнт корисної дії (ККД)

Також вказуються механічні параметри:

- Тип модуля
- Конфігурація кристалів в модулі
- Габаритні розміри модуля
- Вага
- Параметри захисного скла
- Ізолюючий матеріал
- Матеріал та параметри корпусу ФЕМ
- Параметри розподільчої коробки
- Інформація про вбудований кабель
- Тип з'єднання з іншими ФЕМ

Обов'язково вказуються граничні умови використання (температура навколишнього середовища, максимальні напруги системи, максимальні струми), та температурні параметри:

- N_{MOT} ($^{\circ}C$) – температура кристалу, при якій ФЕМ буде мати вихідні електричні параметри, згідно технічного паспорту;
- $K_{P_{max}}$ ($\%/^{\circ}C$) – коефіцієнт зміни максимальної потужності ФЕМ, відносно температури кристалів ($K_{P_{max}} < 0$);
- $K_{V_{oc}}$ ($\%/^{\circ}C$) – коефіцієнт зміни напруги холостого ходу, відносно до температури кристалу ($K_{V_{oc}} < 0$);
- $K_{I_{sc}}$ ($\%/^{\circ}C$) – коефіцієнт зміни струму короткого замикання, відносно до температури кристалу ($K_{I_{sc}} > 0$).

1.2.2 Принципи роботи та експлуатаційні характеристики інверторів

Інвертор – електротехнічний пристрій, призначений для зміни параметрів струму, а саме, перетворювати постійний струм в змінний, придатний для використання в стандартизованих мережах.

Принцип роботи інвертора полягає в модуляції сигналу високої частоти, для формування синусоїдального сигналу, з допустимим коефіцієнтом спотворення (див. рис. 1.7).

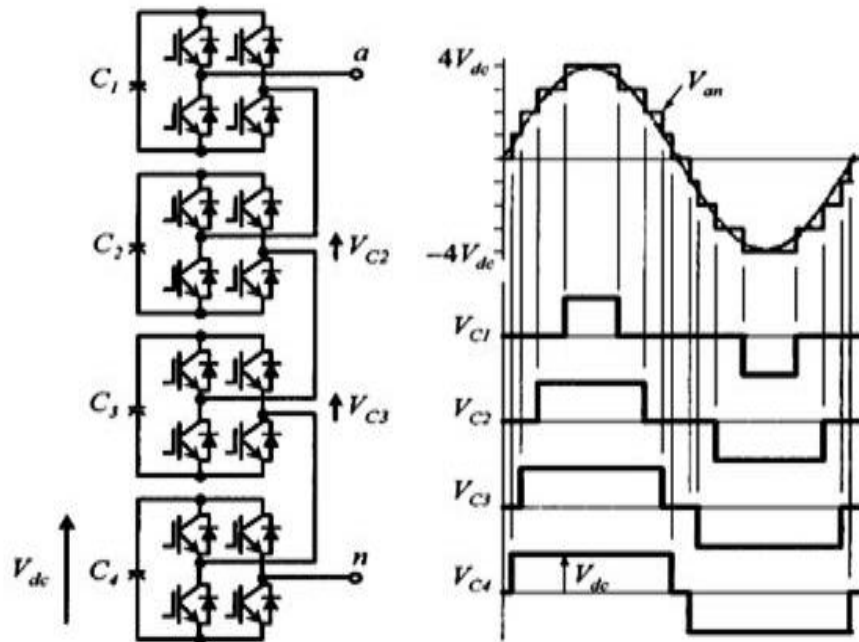


Рисунок 1.7 – Приклад модуляції сигналу в інверторі [11]

На рисунку зображено схему інвертора з чотирма ступенями модуляції сигналу. На практиці таких ступенів більше, що дозволяє сформувати напруги наближену до справжньої синусоїди.

Ця топологія заснована на послідовному з'єднанні однофазних інверторів з джерелами самостійного живлення. На рисунку 1.7 показано ланцюг живлення для інвертору з чотирма модулями на кожній фазі, який має дев'ять рівнів гармонік.

Інвертор генерує три напруги на своєму виході: (V_{dc} , 0, $-V_{dc}$). Коли послідовно з'єднують модулі, він отримує змінну напругу, яка коливається між $-4V_{dc}$ і $4V_{dc}$ з дев'ятьма гармоніками напруги, і формою хвилі, що є майже синусоїдальною, навіть перед фільтруванням. Модульність такої структури дає перевагу в простішому обслуговуванні. Однією з головних переваг цього гібридного підходу полягає в тому, що ви можете збільшити кількість результатів без додаткового впровадження нових компонентів, просто використовуючи джерела живлення з різною напругою. Основна проблема цього типу топології – це вартість та складність, яка стосується потреби незалежного джерела напруги для кожного мосту [12].

Розглядаючи основні параметри інверторів, на прикладі Додатку Б, помітно, що можна виділити 3 групи параметрів інвертора: вхідні, вихідні та загальна інформація.

До вхідних характеристик відносяться вимоги до параметрів постійного струму масивів ФЕМ, що приєднуються до інвертора конкретної моделі, а саме:

- P_{MAX} (W) – максимальна потужність постійного струму;
- V_{MAX} – максимальна напруга постійного струму;
- V_{MPPT} – робочий діапазон MPPT;
- N_{in} – кількість входів;
- N_{MPPT} – кількість MPPT трекерів;
- I_{MAX} – максимальний вхідний струм.

У вихідних характеристиках вказуються значення/діапазони значень електричних величин для змінного струму, в точці приєднання до зовнішньої мережі, а саме:

- P_{NOM} – номінальна вихідна потужність;
- P_{MAX} – максимальна вихідна потужність;
- I_{NOM} – номінальний вихідний струм;
- I_{MAX} – максимальний вихідний струм;
- V_{NOM} – номінальна напруга змінного струму;
- V_{range} – діапазон регулювання напруги змінного струму;
- f_{NOM} – номінальна частота мережі змінного струму;
- f_{range} – можливий діапазон частот мережі змінного струму;
- $\cos\phi$ – коефіцієнт потужності;
- THD – гармонійні спотворення;
- η_{MPPT} – ефективність MPPT;
- η_{INV} – максимальна ефективність.

В загальних даних вказуються такі параметри:

- Габаритні розміри

- Вага
- Робочі температури зовнішнього середовища
- Споживання в режимі очікування
- Тип інверторної схеми
- Тип охолодження
- Ступінь захисту
- Інтерфейси зв'язку

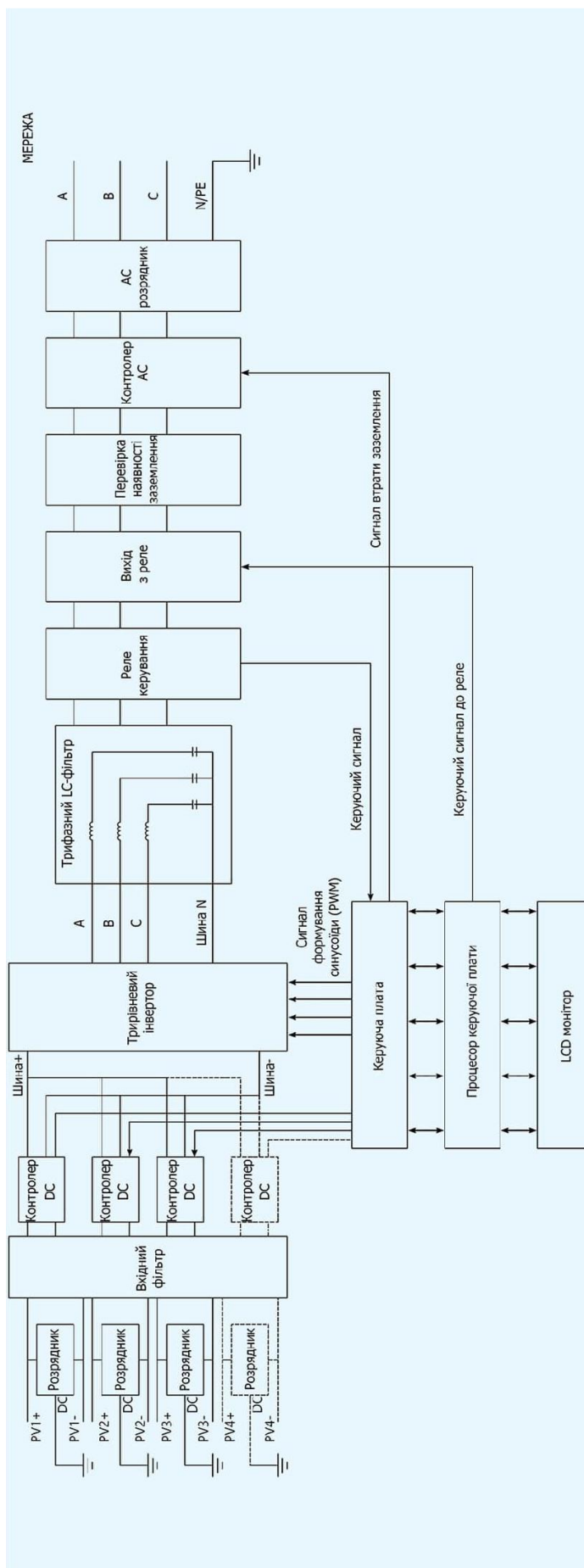


Рисунок 1.8 – Блок-схема мережевого інвертора [13]

1.3 Аналіз впливу зовнішніх чинників на роботу ФЕМ

ФЕМ, за своїм визначенням здійснюють виробництво електроенергії, за умови потрапляння сонячного проміння на поверхню фотоелементів, згідно п. 1.1, номінальні потужності ФЕМ визначені за наступних умов (STC): потужність сонячного потоку на поверхню 1000 Вт/м^2 , температура кристалів 25°C , що є лабораторними (ідеалізованими) умовами для роботи ФЕМ. При найменшому відхиленні від параметрів STC, напівпровідна сутність фотоелемента, різко змінює свої вихідні параметри. Велике значення має і кут падіння променів на поверхню фотоелементів, адже зазначена потужність потоку вимірюється на площину, перпендикулярну до потоку променів [14].

Інтенсивність сонячного випромінювання

Звернемо увагу на ВАХ для ФЕМ (див. рис. 1.9). Дана ВАХ має суміщені графіки роботи ФЕМ при різному рівні сонячної радіації. З практики, в наших широтах, потужність сонячного потоку в 1000 Вт/м^2 зустрічається дуже рідко, зазвичай цей показник досягає значення 800 Вт/м^2 , тобто нормальний режим роботи СЕС це 80% від встановленої номінальної потужності ФЕМ.

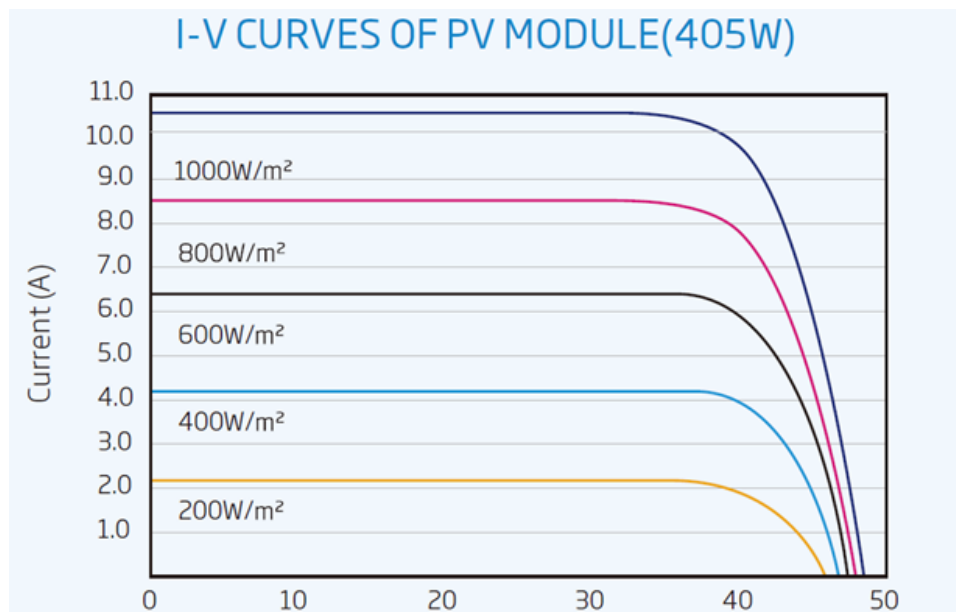


Рисунок 1.9 – Залежність ефективності ФЕП від інтенсивності сонячного випромінювання [15]

Температурні зміни

Також звернемо на параметр температури, що також є важливим фактором величини вихідної потужності ФЕМ. Як описано в п.1.1 існує температурний коефіцієнт вихідного струму ФЕМ, що обумовлюється напівпровідниковою природою фотоелементів. При збільшенні температури напівпровідника, опір матеріалу зменшується, що підвищує вихідний струм, що в свою чергу призводить до збільшення падіння напруги в провідниках ФЕМ. Саме тому на фотоелементах є велика кількість паралельних з'єднань провідників, що розміщені на кристалах кремнію [16].

З огляду на це, можна стверджувати, що в моменти коли потужність сонячного випромінювання досягає 1000 Вт/м^2 , вони будуть супроводжуватись високою температурою кристалу, тому досягнення в реальних умовах номінальної потужності ФЕМ – неможливе. Керуюсь даним фактом, виробники інверторів, що призначені для використання на ФЕС, виготовляють обладнання таким чином, щоб вхідна максимальна потужність інвертора була на 15-20% вища від номінальної вихідної потужності. Таким чином, навантажуючи інвертор ФЕМ, загальною потужністю що становить 115-120% від його номінальної вихідної потужності, досягається економічна ефективність інвертора, тобто використовується максимальний ресурс.

Вплив затінення на вихідні параметри ФЕМ

Процес генерації ЕЕ в ФЕМ, що описаний в підрозділі 1.2, говорить про те, що величина струму ФЕМ залежить від інтенсивності сонячного випромінювання, що потрапляє на поверхню кристалів кремнію, змінюючи опір напівпровідника. Графічне відображення впливу інтенсивності на внутрішній опір ФЕМ, наведено на рис (див. рис. 1.9).

На практиці, ФЕМ збираються в послідовні кола, для досягнення рівня напруги (DC), що є придатним для її перетворення в трифазну змінну (AC). Це зменшує кількість комутаційних апаратів в інверторах, проте з урахуванням фактору збільшенні опору ФЕМ від освітлення, створює негативний вплив на роботу всього послідовного кола ФЕМ, при частковому затіненні елементів

кола. Цей вплив пояснюється тим, що у випадках, коли на поверхні ФЕМ з'являється тінь від навколишніх об'єктів (елементи ЛЕП, огорожі, будівлі, дерева і т.п.) або ж від мінливих погодних умов (хмарність), при зменшенні опору на одному елементі кола, знижується пропускна можливість всієї послідовної лінії ФЕМ, до найменшого значення, на затіненому модулі [17].

1.4 Аналіз електротехнічних критеріїв інверторів при зміні режимів роботи ФЕМ

Інвертори здійснюють перетворення параметрів струму DC, що потрапляє на його вхідні клеми від ФЕМ, до стандартизованих значень (зовнішньої) загальної мережі.

Базуючись на принципах роботи ФЕМ, можемо відобразити вплив режимів роботи ФЕМ на зміну вихідних параметрів інверторів, в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Вплив режимів роботи ФЕМ на зміну вихідних параметрів інверторів [18]

Вплив на ФЕМ	Реакція інвертора
Підвищення інтенсивності сонячного випромінювання	Підвищення вихідної напруги та збільшення вихідної потужності
Підвищення температури кристалу	Зменшення вихідної потужності
Зниження температури кристалу	Підвищення вихідної потужності
Часткове затінення ФЕМ	Зменшення вихідної потужності

Реакція інвертора на зміни в мережі.

Мережеві інвертори є залежними інверторами, тобто ведені мережею. На практиці це означає, що електричний кут фази, амплітуда фазної напруги та частота, які буде формувати інверторний блок, залежать від параметрів зовнішньої мережі. Живлення інвертор отримує зі сторони DC, тому в той час, коли ФЕМ не генерують ЕЕ, інвертори знаходяться в режимі очікування та не споживають ЕЕ. В момент, коли на клеммах інвертора з'являється напруга (DC), з величиною придатною до інвертування, в інверторі вмикається блок, що починає аналізувати параметри мережі, в яку планується відпуск ЕЕ.

Отримавши інформацію про кути повороту фаз на кожній з клем, вимірявши фазну напругу кожної клеми, вимірюється частота напруги (АС) та перевіривши, що всі значення відповідають визначеному робочому діапазону, починається процес інвертування та відпуску ЕЕ, що була вироблена за допомогою ФЕМ. Для того щоб здійснити переток ЕЕ від точки включення інвертора до точки приєднання ФЕС, плата керування інвертора, піднімає вихідну напругу (АС) на 1-2 В, від виміряного значення, до початку роботи. Таким чином між точкою приєднання інвертора та точкою приєднання ФЕС створюється різниця потенціалів, що і призводить до появи струму в мережі.

1.5 Вплив режимів роботи інверторів на роботу трансформаторів

Вихідні параметри ЕЕ на виході з трансформаторів у великій мірі залежать від вхідних параметрів ЕЕ. Хоча трансформатори, за своєю суттю вважаються найефективнішими електричними машинами, високі показники ефективності витримуються лише в певних діапазонах вхідних параметрів [19].

Розглянемо внутрішні втрати в трансформаторах. Постійні втрати в трансформаторах визначаються за формулою:

$$\Delta P_0 = \Delta P_m + I_{20} \cdot r_1, \quad (1.1)$$

де ΔP_m – втрати ЕЕ в обмотках (втрати в міді, або втрати КЗ);

$I_{20} \cdot r_1$ – втрати в сталі магнітопроводу (втрати холостого ходу).

Постійні втрати в трансформаторі – втрати в обмотках трансформатора та його магнітопроводі, що виникають від протікання струмів в обмотках та струмів намагнічування магнітопроводу та не залежать від завантаження Т.

Також існують втрати що залежать від навантаження Т, тобто від коефіцієнта завантаження $K_3=0\dots 1$

$$K_3 = \frac{S_{max}}{S_H} \quad (1.2)$$

де S_{max} – максимальна потужність Т;

S_H – номінальна потужність Т.

Тобто при зміні потужності інверторів, будуть змінюватись втрати в Т відносно K_z , а загальні втрати в Т будуть визначатись як сума $P_0 + \Delta P$.

Також при зміні напруги на шинах НН, куди підключаються інвертори, буде змінюватись напруга на шинах ВН, що буде впливати на напругу в точці приєднання ФЕС до ОЕС.

Висновок до розділу

В наведеному розділі проведено аналіз структури потужностей відновлюваних джерел енергії в енергобалансі України.

Проведено дослідження ефективності роботи СЕС та її компонентів з врахуванням впливу різних факторів на електротехнічні характеристики. Визначено особливості експлуатації ФЕС в умовах стохастичної генерації, та виділено основні їх чинники впливу на якість електричної енергії.

2 АНАЛІЗ ЗАСОБІВ ТА ЗАХОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НОРМАТИВНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

2.1 Заходи щодо забезпечення нормативних показників якості електричної енергії

Для дотримання показників якості ЕЕ, в межах норм, які регламентуються діючими ДСТУ:EN 50160-2014, можливе використання заходів з управління електрогосподарства. Одним з таких заходів, що буде контролювати рівень напруги в точці приєднання, є регулювання коефіцієнта трансформації напруги [20].

$U_{\text{вн}}/U_{\text{нн}}$ такі заходи регламентуються ПУЕ, як сезонні, проте на ФЕС такі заходи можуть носити більш частий характер. Як описувалось в підрозділі 1.4, Т на ФЕС повинні бути обладнані системою регулювання коефіцієнту трансформації під напругою в межах $\pm 2 \times 2,5\% U_{\text{ном}}$.

Керування попитом/пропозицією

Керування попитом на ЕЕ має велике значення для дотримання балансу в ОЕС між споживанням та генерацією в кожен момент часу. В КСР описані механізми, до яких може вдатись ОСР для підтримання ОЕС в безпечному стані. Одним із таких механізмів є диспетчерське обмеження максимальних та мінімальних потужностей генеруючих об'єктів, при якому буде дотримуватись баланс попиту та пропозиції на ЕЕ в кожен момент часу, на який вводиться обмеження. На ФЕС, без зміни структури установок, можливо досягнути лише обмеження максимальної вихідної потужності, шляхом відключення окремих блоків ФЕС. Мінімальний рівень не може бути керований, оскільки існує пряма залежність рівня генерацій під погодних умов [21].

Внесення змін в проекти

Дотримання нормативних показників якості електричної енергії можливо досягнути в певній мірі, на етапі проектування ФЕС та вибору основного обладнання.

Так при збільшенні перерізу КЛ, зменшується вплив відхилення напруг на всіх шинах РП ФЕС та в точці приєднання ФЕС до ОЕС.

Проектування трансформаторів, найвищий ККД яких буде досягатись на рівні $K_z = 0,7..0,85$.

Оптимізація схем КТП ФЕС представлена на рисунках 2.1 та 2.2.

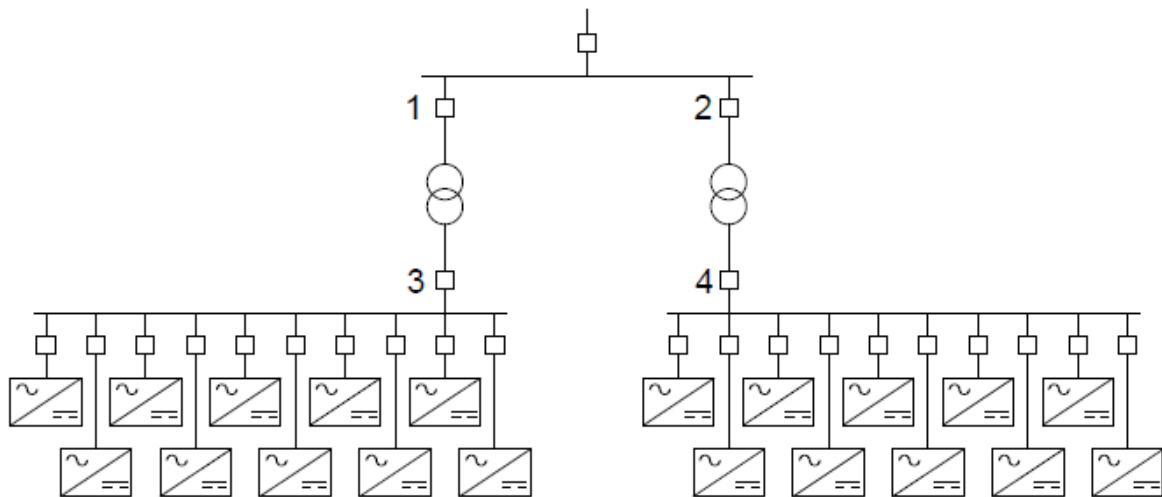


Рисунок 2.1 – Стандартна схема приєднання ФЕС до КТП

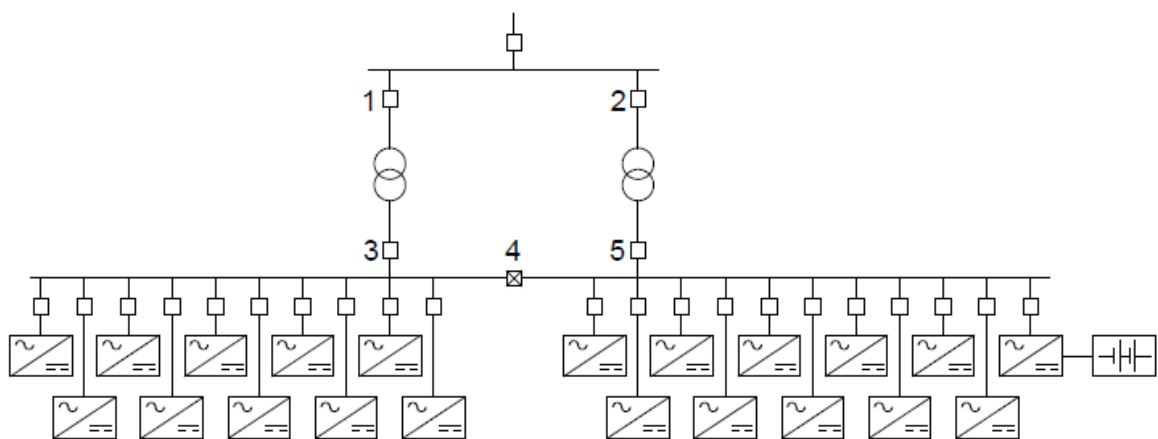


Рисунок 2.2 – Оптимізована схема приєднання ФЕС до КТП

Таблиця 2.1 – Логічна таблиця автоматичних перемикачів вимикачів

Завантаження трансформаторів, S кВА	Вимикачі				
	1	2	3	4	5
0,7 – 1	+	+	+	–	+
0,1 – 0,7	+	–	+	+	–
0	–	–	–	–	–

2.2 Засоби щодо забезпечення нормативних показників якості електричної енергії

2.2.1 Компенсація реактивної потужності

Залежно від виду використовуваного електроустаткування, характер навантаження може бути активним, індуктивним та ємнісним. Найчастіше в мережах зустрічаються з активно-індуктивним навантаженням. Відповідно, в мережах, відбувається споживання активної та реактивної енергії.

Активна енергія – корисна, та з використанням електричних машин перетворюється в механічну, теплову та інші. Реактивна ж не пов'язана з корисним використанням, а витрачається на створення електромагнітних полів в електродвигунах, трансформаторах, індукційних печах, зварювальних трансформаторах. Наявність реактивної потужності в мережі погіршує коефіцієнт потужності, що тягне за собою збільшення споживання електричної енергії та підштовхує до економічно невигідного збільшення перерізу кабелів ліній електропередач. Тому виникає потреба в компенсації реактивної енергії в мережах [22].

Компенсація реактивної потужності – цілеспрямована дія на керування балансу реактивної потужності в конкретному вузлі приєднання електроустановки з метою зменшення втрат електричної енергії, регулювання напруги в точці приєднання, що гарантує підвищення економічності та надійності електромереж.

Найбільш поширеним і дієвим на даний час, способом регулювання реактивної потужності в мережі є застосування конденсаторних установок (КУ). КУ – електроустановка, що складається з груп (групи) конденсаторів, електрично зв'язаних між собою та допоміжного електроустаткування (вимикачів, роз'єднувачів, розрядних резисторів, пристроїв регулювання, захисту тощо). Використання КУ дозволяє [23]:

- Розвантажити електропередавальні лінії, трансформатори та РП;
- Зменшити споживання ЕЕ та знизити рівень вищих гармонік;
- Знизити несиметрію фаз;
- Підвищити економічність та надійність електричних мереж.

Споживач електричної енергії зобов'язаний підтримувати рівень реактивної потужності в розподільчій мережі відповідно до значення економічно оптимальної реактивної потужності, що вказується в ТУ приєднання енергетичного об'єкта до мереж та застосовується як до споживача так і до виробника ЕЕ [24].

2.2.2 Акумуляування електроенергії

Інтеграція НЕ, на базі акумуляторних батарей, в структуру схем ФЕС є перспективним напрямком, оскільки дозволяє вирішити ряд проблем, які виникають в ОЕС під дією роботи в ній ФЕС.

В першу чергу, акумуляування ЕЕ дозволяє керувати графік вихідної потужності, відповідно до потреб інших споживачів ОСР, до мереж якого підключена ФЕС. При встановленні НЕ на ФЕС, збільшується встановлена потужність маневрених потужностей регіону, які є невід'ємною частиною ОЕС, у вигляді ГЕС та ТЕС (частково маневрені), ГАЕС, газотурбінних установок.

Для оператора ФЕС це дозволяє уникнути недовідпуску ЕЕ в періоди, коли ОСР встановлює граничні межі максимальної потужності. Також з'являється можливість у виставленні мінімальної потужності ФЕС в точці

приєднання до мереж ОСР. Керування величиною потужності прямо впливає на рівень напруги в точці приєднання. Тобто інтегрування НЕ в структури електроустановок ФЕС дає можливість керування такого показника якості ЕЕ, як відхилення напруги.

Використання НЕ з керованими інверторами, які описані в розділі 1 дасть можливість керувати рівнем коефіцієнта потужності в точці приєднання ФЕС.

2.3 Алгоритм розрахунку оптимальної ємності накопичувача для комплексу “відновлюване джерело-акумулятор”

З огляду на сучасні тенденції розвитку світової енергетики помітним є збільшення використання генерувальних установок які працюють на основі енергії вітру та сонця, перетворюючи її в електричну енергію. Використання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) має ряд позитивних якостей які забезпечують їх активний розвиток. Зокрема можна визначити: відсутність екологічних забруднень в ході експлуатації, повсемісне використання, мала необхідність в технічному обслуговуванні та інші. Поряд з позитивними властивостями є ряд недоліків, основним з яких є недостатня прогнозованість обсягів генерації в залежності від часу. Але інтегрувавши в систему генерувальної установки накопичувач енергії (НЕ), можна суттєво зменшити негативний вплив фактору непрогнозованої генерації. Застосування НЕ допомагає накопичувати надлишки які виробляються ВДЕ та використовувати закумульовану енергію в моменти дефіциту та/або відсутності генерації від ВДЕ [25].

Питання гарантованого забезпечення постачання електричної енергії споживачу, яке працює в автономній системі ВДЕ-НЕ-споживач, є основним критерієм при виборі встановлених потужностей генератора на основі ВДЕ та ємності НЕ. Також застосування НЕ дозволяє знизити коливання напруги в системі ВДЕ-споживач.

В результаті аналізу параметрів сучасних НЕ, акумуляторні батареї (АБ) різних типів, з урахування питомого показника енергоємності 30-400 Вт*год/кг та кількості життєвих циклів 500-1200, можна вважати найбільш придатними для тривалого використання в системі ВДЕ-НЕ-споживач. Одним з шляхів розв'язання задачі забезпечення гарантованого електропостачання є вибір такого НЕ, який забезпечить накопичення всього надлишку енергії, згенерованої ВДЕ та спожитої навантаженням. Важливою властивістю системи ВДЕ-НЕ-споживач є постійна наявність надлишку генерації, яку можна використати в період дефіциту та/або відсутності генерації від ВДЕ. Визначення параметрів НЕ для покриття потреб автономного споживача є достатньо гострим та в той же час недостатньо опрацьованим питанням.

Заряд кожної АБ можна розділити на дві умовні частини. Перша частина це номінальний рівень максимально допустимого розряду (глибина розряду) - *MDOD (maximum depth of discharge)* для певного типу АБ, який є відносною величиною та для більшості типів сучасних АБ $MDOD = 0,7 \div 0,8$. Всі виробники АБ в технічних паспортах свого обладнання вказують *MDOD*, як ступінь розряду при якій АБ пропрацює найменшу кількість циклів заряд/розряд. Тобто при розряді глибшому за *MDOD* швидкість зносу АБ збільшується. Логічно буде стверджувати, що існує певна відносна величина мінімального ступеню заряду АБ, який повинен постійно зберігатись в АБ *MSOC (minimum state of charge)*. Отже для кожного окремого типу АБ можна записати вираз:

$$MSOC + MDOD = 1 \quad (2.1)$$

Числове вираження енергії, яка міститься в АБ, можна визначити арифметичним множенням значення ємності АБ на значення напруги між її клемами. Зазвичай для АБ використовують визначення номінальної ємності, та подають її в А*год. Тому в процесі експлуатації зручніше оперувати не ємністю АБ, а її зарядом. В залежності від режимів експлуатації, які постійно змінюються (заряд–розряд), значення заряду, тобто кількість закумульованої енергії, змінюється. Оскільки в кожен момент часу, ми будемо мати різні

значення електричного заряду ($A \cdot \text{год}$), його можна чисельно виразити через безрозмірну величину SOC (*state of charge*) – відношення поточного заряду АБ до її номінальної ємності. Поряд із SOC існує величина DOD (*depth of discharge*) – відношення ступеню розряду АБ до її номінальної ємності. Тобто в кожен момент часу АБ можна описати виразом:

$$SOC(t) + DOD(t) = 1 \quad (2.2)$$

З формули 2.2 випливає, що повністю заряджений АБ відповідає значення $SOC(t) = 1$ та $DOD(t) = 0$. А повністю розряджений АБ – $SOC(t) = 0$ та $DOD(t) = 1$.

З вищесказаного видно, що існує діапазон ступенів заряду АБ в якій вона буде працювати без збоїв, назвемо її NRM (*normal run mode*). NRM є діапазоном від повного заряду АБ до $MSOC$, що можна описати наступним чином:

$$NRM \in [MSOC; 1] \quad (2.3)$$

Тобто в числовому виразі NRM можна визначити як:

$$NRM = 1 - MSOC = MDOD \quad (2.4)$$

Зміну SOC на послідовних інтервалах часу з тривалістю ΔT можна виразити залежністю:

$$SOC(t) = SOC(t-1) + \frac{E_{RES}(t) - \left(E_{load}^{DC}(t) + \frac{E_{load}^{AC}(t)}{\eta_{inv}} \right)}{V_{bat} \cdot C_{bat}} \quad (2.5)$$

де $E_{RES}(t)$ - обсяг енергії, виробленої ВДЕ;

$E_{load}^{DC(AC)}(t)$ - обсяг енергії, спожитий навантаженням (верхні індекси DC та AC застосовуються до постійного та змінного струму відповідно);

η_{inv} - ККД інвертора;

V_{bat} - напруга на клеммах масиву АБ;

C_{bat} - ємність масиву АБ.

Необхідно зазначити, що підібрана ємність масиву АБ, на всьому циклі роботи, при безперебійному постачанні електричної енергії навантаженню, повинна перебувати в зарядженому стані. Це твердження можна представити виразом:

$$\forall SOC(t) = MSOC \quad (2.6)$$

При цьому стан АБ можна описати залежністю критерій інваріантності SOC:

$$SOC(t_0) = SOC(t_T) \quad (2.7)$$

В залежності від виразу 2.7 t_0 – початок періоду роботи ВДЕ з АБ, тобто початок розрахункового циклу. З урахуванням формули 2.7 залежність 2.5 буде мати вигляд:

$$SOC(t_T) = SOC(t_0) + \frac{E_{RES}(t) - \left(E_{load}^{DC}(t) + \frac{E_{load}^{AC}(t)}{\eta_{inv}} \right)}{V_{bat} \cdot C_{bat}} \quad (2.8)$$

При цьому умова 2.7, з урахуванням 2.8, дає залежність:

$$\sum_{t=t_i}^{t_T} \left[E_{RES}(t) - \left(E_{load}^{DC}(t) + \frac{E_{load}^{AC}(t)}{\eta_{inv}} \right) \right] = 0 \quad (2.9)$$

Залежність 2.9 дозволяє визначити необхідне значення $E_{RES}(t)$ для ВДЕ та обрати відповідні технічні засоби його реалізації відповідно до потреб живлення навантаження споживачів електричною енергією.

Тобто з використанням залежності 2.9 можна визначити в даному випадку кількість фотоелектричних панелей певного типу, які забезпечать виробництво електричної енергії, обсяг якої обумовлює її споживання.

Оскільки $E_{RES}(t)$ змінюється випадковим чином, енергія, яку накопичує/віддає АБ може бути визначена, коли рівність 2.9 в залежності 2.7 не виконується, тобто утворюється надлишок/дефіцит електричної енергії

виробленої ВДЕ. Енергія $E_{RES}(t)$, яку накопичує/віддає АБ, може бути визначена відповідно до 2.9 залежністю:

$$E_{bat}(t) = E_{RES}(t) - E_{load}^{DC}(t) + \frac{E_{load}^{AC}(t)}{\eta_{inv}} \quad (2.10)$$

Залежність 2.10 дає можливість визначити ємність АБ, якщо вона є постійною величиною, шляхом ділення правої та лівої частин цієї залежності на $V_{bat} \cdot C_{bat}$. Однак, за результатами досліджень (ресурс), відомо, що в залежності від зарядного струму (I^+) АБ буде мати різну ємність; в залежності від стану зарядженості $SOC(t)$, на клемі масиву АБ напруга буде змінюватись. Змінюється ємність АБ також під дією температури навколишнього середовища та терміну експлуатації – деградації активних речовин АБ.

Для подальшого використання залежності 2.10 необхідно знехтувати факторами впливу на результат непостійності значення ємності АБ. Для цього замість ємності АБ будемо розглядати кількість енергії, яку містить АБ. Оцінку кількості цієї енергії будемо здійснювати шляхом визначення заряду АБ – $Q(t)$.

Обсяг енергії, яку містить масив АБ в кожен момент часу, можна розглядати як залежний від величини $SOC(t)$. При цьому в чисельному виразі:

$$Q(t) = C_{bat} \cdot SOC(t) \quad (2.11)$$

В формулі 2.8 під C_{bat} мається на увазі поточне значення ємності АБ, яке неможливо визначити в процесі роботи.

В кожен момент часу заряд АБ буде визначати сума двох складових – заряду АБ на початку роботи $Q(t_0)$ та всієї енергії, яку накопичено в АБ на поточний момент часу. При цьому з урахуванням формул 2.8 та 2.10 можна отримати наступну залежність:

$$Q(t) = Q(t_0) + \sum_{t=t_i}^{t_T} \frac{E_{bat}}{V_{bat}} \quad (2.12)$$

Значення $Q(t)$ в залежності 2.12 має бути більше $Q(t_0)$, що відповідає виключно зарядженому стану АБ. Досягти виконання цієї умови можливо відповідним чином вибираючи значення $Q(t_0)$.

Протягом всього періоду роботи ВДЕ, залежно від обсягу виробленої ним енергії, значення заряду АБ згідно з формулою 2.12 може змінюватись від Q_{\min} до Q_{\max} . Ці значення можна визначити з всього обчисленого ряду значень наступним чином:

$$Q_{\min} = \min(Q(t)), Q_{\max} = \max(Q(t)), t = [t_1, t_2, \dots, t_T] \quad (2.13)$$

Оскільки значення Q_{\min} має бути позитивним (за умовою постійно зарядженого масиву АБ), мінімальний заряд та значення робочого діапазону, обраного в результаті C_{bat} , повинно відповідати наступним умовам:

$$Q_{\min} \geq DOD \cdot C_{bat} \quad (2.14)$$

$$Q_{\max} - Q_{\min} \geq NRM \cdot C_{bat} \quad (2.15)$$

З урахуванням формул 2.14 та 2.15 отримуємо двокритеріальне рівняння:

$$C_{bat} \geq \max \left[\frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{NRM}, \frac{Q_{\min}}{MSOC} \right] \quad (2.16)$$

Розрахунок відповідно до залежності 2.16 можливо виконати за наявності графіка електричного навантаження споживачів та прогнозних/статистичних даних щодо генерації електричної енергії ВДЕ. Розрахунок необхідно виконати для характерних періодів використання комплексу ВДЕ–АБ – залежно від пори року, робочого та вихідного днів тощо.

Особливу увагу слід приділити забезпеченню умови обмеження значення струму заряду/розряду АБ. Значення ємності АБ за результатами проведених розрахунків має задовольняти всім обраним періодам використання комплексу ВДЕ–АБ.

Висновки до розділу

В наведеному розділі представлена інформація щодо заходів та засобів для забезпечення нормативних показників якості електричної енергії (ЯЕЕ). В декількох варіантах розглянуто можливості впливати на ЯЕЕ.

Розроблено алгоритм розрахунку оптимальної ємності накопичувача електроенергії для комплексу “відновлюване джерело-акумулятор”, що дозволяє виконати розрахунок без використання початкової ємності акумулятора, відсутній фактор циклічного підбору необхідної ємності, оскільки виконується розрахунок обсягів енергії необхідного для забезпечення гарантованого електропостачання навантаження.

3 ВИКОРИСТАННЯ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НОРМАТИВНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

3.1 Визначення роботи СЕС за умови керування попитом

В даному підрозділі наведені таблиці, а саме 3.1 – 3.6, являються скороченими. Розрахунок та аналіз даних наведений для таблиць, які представлені в додатках Е.1 – Е.6.

Розглянемо ситуацію коли ОСР встановлює обмеження по можливому перетоку потужності згенерованої СЕС через ПС, математично це можна показати виразом (див. форм. 3.1). За такої умови в обрану систему потрібно впровадити накопичувач електроенергії (НЕ), який буде накопичувати недовідпущену електроенергію СЕС з можливістю подальшого відпуску в рамках обмежень заданих ОСР.

$$P_{\text{ПС}} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 - P_{\text{СЕС}} \geq 0 \quad (3.1)$$

В представленному сценарії наведено приклад розрахунку для обраної ділянки розподільної мережі. Розрахунок виконано за допомогою програмного забезпечення MS Excel. Навантаженням системи виступають чотири споживача з потужністю, яка моделюється за допомогою вбудованої функції випадкових чисел (див. табл. Е.1) та графік якого матиме вигляд (див рис. 3.1).

$$E_i = P_i \cdot \Delta t \quad (3.2)$$

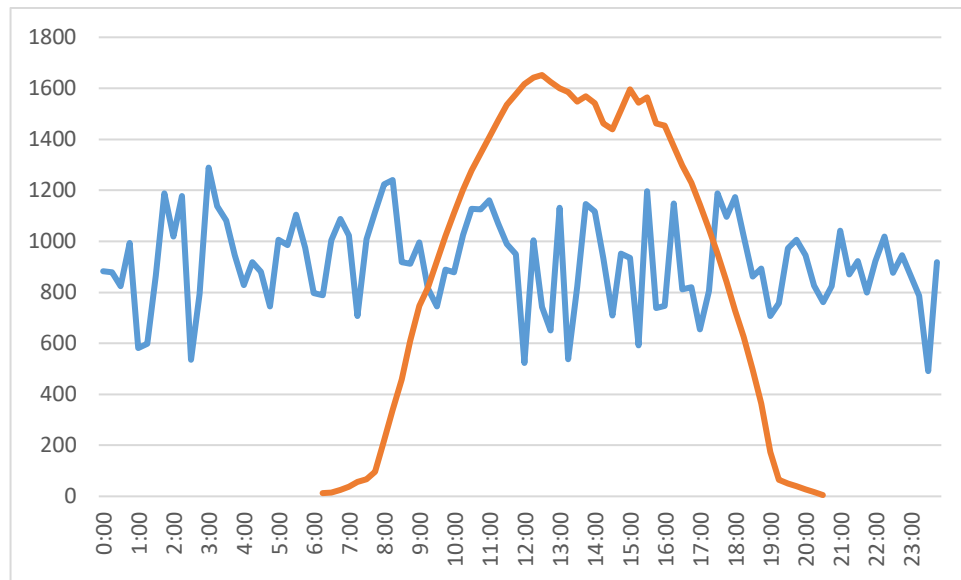


Рисунок 3.1 –Графіки загального навантаження та генерації СЕС протягом дня

Таблиця 3.1–Навантаження для обраної ділянки розподільної мережі по споживачам (розширена таблиця наведена в додатку Е.1)

Час, Т	Навантаження L1		Навантаження L2		Навантаження L3		Навантаження L4	
	Р, кВт	Е, кВт·год	Р, кВт	Е, кВт·год	Р, кВт	Е, кВт·год	Р, кВт	Е, кВт·год
00:00	185	46,25	84	21	479	119,75	135	33,75
1:00	134	33,5	166	41,5	133	33,25	148	37
2:00	516	129	78	19,5	281	70,25	143	35,75
3:00	391	97,75	234	58,5	489	122,25	175	43,75
4:00	200	50	71	17,75	400	100	158	39,5
5:00	190	47,5	213	53,25	446	111,5	158	39,5
6:00	174	43,5	124	31	301	75,25	197	49,25
7:00	437	109,25	82	20,5	403	100,75	100	25
8:00	471	117,75	176	44	386	96,5	191	47,75
9:00	483	120,75	99	24,75	306	76,5	107	26,75
10:00	406	101,5	74	18,5	224	56	175	43,75
11:00	494	123,5	89	22,25	459	114,75	119	29,75
12:00	81	20,25	166	41,5	177	44,25	100	25
13:00	361	90,25	175	43,75	402	100,5	194	48,5
14:00	428	107	209	52,25	310	77,5	170	42,5
15:00	276	69	136	34	334	83,5	189	47,25
16:00	175	43,75	180	45	260	65	132	33
17:00	84	21	217	54,25	215	53,75	138	34,5

Продовження таблиці 3.1

18:00	488	122	149	37,25	354	88,5	182	45,5
19:00	116	29	94	23,5	331	82,75	165	41,25
20:00	473	118,25	87	21,75	234	58,5	151	37,75
21:00	351	87,75	128	32	384	96	179	44,75
22:00	183	45,75	181	45,25	370	92,5	188	47
23:00	193	48,25	209	52,25	360	90	105	26,25

В таблиці 3.2 представлені дані сумарного навантаження на ПС, якщо в системі відсутнє інше джерело генерації, вихідні дані були взяті з таблиці Е.1, а розрахунок був проведений за допомогою формул 3.1 та 3.2.

$$P_i = P_{L1(i)} + P_{L2(i)} + P_{L3(i)} + P_{L4(i)}, \quad (3.3)$$

$$E_i = E_{L1(i)} + E_{L2(i)} + E_{L3(i)} + E_{L4(i)}, \quad (3.4)$$

де i – час для якого проводиться розрахунок.

Таблиця 3.2 Сумарне навантаження на ПС (розширена таблиця наведена в додатку Е.2)

Час, Т	Сумарне навантаження Р, кВт	Споживання за інтервал часу E_i , кВт·год	Сумарне споживання на момент часу Е, кВт·год
0:00	883	220,75	220,75
1:00	581	145,25	366
2:00	1018	254,5	620,5
3:00	1289	322,25	942,75
4:00	829	207,25	1150
5:00	1007	251,75	1401,75
6:00	796	199	1600,75
7:00	1022	255,5	1856,25
8:00	1224	306	2162,25
9:00	995	248,75	2411
10:00	879	219,75	2630,75
11:00	1161	290,25	2921
12:00	524	131	3052
13:00	1132	283	3335

Продовження таблиці 3.2

14:00	1117	279,25	3614,25
15:00	935	233,75	3848
16:00	747	186,75	4034,75
17:00	654	163,5	4198,25
18:00	1173	293,25	4491,5
19:00	706	176,5	4668
20:00	945	236,25	4904,25
21:00	1042	260,5	5164,75
22:00	922	230,5	5395,25
23:00	867	216,75	5612

Проаналізувавши отриману таблицю можна виділити дані про загальну спожиту кількість електроенергії за період в один день, $E = 20893$ кВт·год.

Графік генерації СЕС взято з введеної в експлуатацію станції, дані про згенеровану електроенергію E_i розраховано за допомогою формули (3.2).

Таблиця 3.3 Генерація СЕС (розширена таблиця наведена в додатку Е.3)

Час, Т	Покрите навантаження за рахунок СЕС Р, кВт	Згенерована електроенергія за інтервал часу E_i , кВт·год	Сумарна згенерована електроенергія на момент часу Е, кВт·год
0:00	0	0	0
1:00	0	0	0
2:00	0	0	0
3:00	0	0	0
4:00	0	0	0
5:00	0	0	0
6:00	0	0	0
7:00	37,75333	12,58444	12,58444
8:00	220,5	73,5	86,08444
9:00	747,6233	249,2078	335,2922
10:00	1110,083	370,0278	705,32
11:00	1407,91	469,3033	1174,623
12:00	1616,09	538,6967	1713,32
13:00	1600,667	533,5556	2246,876
14:00	1540,677	513,5589	2760,434
15:00	1596,607	532,2022	3292,637
16:00	1452,873	484,2911	3776,928

Продовження таблиці 3.3

17:00	1143,24	381,08	4158,008
18:00	726,95	242,3167	4400,324
19:00	173,6467	57,88222	4458,207
20:00	27,34667	9,115556	4467,322
21:00	0	0	4467,322
22:00	0	0	4467,322
23:00	0	0	4467,322

Виконавши аналіз вище наведеної таблиці можна виділити дані про сумарну згенеровану кількість електроенергії за день $E = 17753,03$ кВт·год.

Для отримання даних про навантаження на ПС з урахуванням генерації СЕС скористаємося формулою 3.5.

$$P_{\text{ПС}} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 - P_{\text{СЕС}} \quad (3.5)$$

Таблиця 3.4 – Навантаження на ПС з урахуванням генерації СЕС (розширена таблиця наведена в додатку Е.4)

Час, Т	Навантаження на ПС Р, кВт	Споживання за інтервал часу E_i , кВт·год	Сумарне споживання на момент часу Е, кВт·год
0:00	883	220,75	220,75
1:00	581	145,25	366
2:00	1018	254,5	620,5
3:00	1289	322,25	942,75
4:00	829	207,25	1150
5:00	1007	251,75	1401,75
6:00	796	199	1600,75
7:00	984,2467	246,0617	1846,812
8:00	1003,5	250,875	2097,687
9:00	247,3767	61,84417	2159,531
10:00	-231,083	-57,77083	2101,76
11:00	-246,91	-61,7275	2040,033
12:00	-1092,09	-273,0225	1767,01
13:00	-468,667	-117,1667	1649,843
14:00	-423,677	-105,9192	1543,924
15:00	-661,607	-165,4017	1378,523
16:00	-705,873	-176,4683	1202,054

17:00	-489,24	-122,31	1079,744
-------	---------	---------	----------

Продовження таблиці 3.4

18:00	446,05	111,5125	1191,257
19:00	532,3533	133,0883	1324,345
20:00	917,6533	229,4133	1553,758
21:00	1042	260,5	1814,258
22:00	922	230,5	2044,758
23:00	867	216,75	2261,508

Провівши аналіз значень які наведені в таблиці Е.4 можна зазначити, що впровадження СЕС в розглянуту ділянку має великий вплив на навантаження ПС. Так, без СЕС, кількість спожитої електроенергії за рахунок ПС за день складала $E = 20893$ кВт·год, а з СЕС $E = 7578,23$ кВт·год.

Враховавши обмеження встановленні ОСР, кінцеві дані будуть мати наступний вигляд (див. табл. Е.5), а дані про накопичення згенерованої електроенергії за рахунок СЕС (див. табл. Е.6), а графічно це буде виглядати наступним чином (див. рис. 3.2 та 3.3).

Таблиця 3.5 – Навантаження на ПС з урахуванням обмеження ОСР

(розширена таблиця наведена в додатку Е.5)

Час, Т	Навантаження на ПС Р, кВт	Споживання за інтервал часу E_i , кВт·год	Сумарне споживання на момент часу Е, кВт·год
0:00	883	220,75	220,75
1:00	581	145,25	366
2:00	1018	254,5	620,5
3:00	1289	322,25	942,75
4:00	829	207,25	1150
5:00	1007	251,75	1401,75
6:00	796	199	1600,75
7:00	984,2467	246,0617	1846,812
8:00	1003,5	250,875	2097,687
9:00	247,3767	61,84417	2159,531
10:00	0	0	2159,531
11:00	0	0	2159,531
12:00	0	0	2159,531
13:00	0	0	2159,531
14:00	0	0	2159,531

15:00	0	0	2159,531
16:00	0	0	2159,531

Продовження таблиці 3.5

17:00	0	0	2159,531
18:00	446,05	111,5125	2271,043
19:00	532,3533	133,0883	2404,132
20:00	917,6533	229,4133	2633,545
21:00	1042	260,5	2894,045
22:00	922	230,5	3124,545
23:00	867	216,75	3341,295

Таблиця 3.6 – Кількість накопиченої електроенергії в НЕ (розширена таблиця наведена в додатку Е.6)

Час, Т	Накопичена потужність Р, кВт	Накопичена електроенергія за період E_t , кВт·год	Сумарна накопичена електроенергія в момент часу E , кВт·год
0:00	0	0	0
1:00	0	0	0
2:00	0	0	0
3:00	0	0	0
4:00	0	0	0
5:00	0	0	0
6:00	0	0	0
7:00	0	0	0
8:00	0	0	0
9:00	0	0	0
10:00	231,0833	57,77083	57,77083
11:00	246,91	61,7275	119,4983
12:00	1092,09	273,0225	392,5208
13:00	468,6667	117,1667	509,6875
14:00	423,6767	105,9192	615,6067
15:00	661,6067	165,4017	781,0083
16:00	705,8733	176,4683	957,4767
17:00	489,24	122,31	1079,787
18:00	0	0	1079,787
19:00	0	0	1079,787
20:00	0	0	1079,787
21:00	0	0	1079,787
22:00	0	0	1079,787
23:00	0	0	1079,787

Загальна кількість накопиченої електроенергії в НЕ складе $E = 4174,756$ кВт·год.

В представленому випадку, а саме коли ОСР встановлює обмеження по можливому перетоку потужності, згенерованої СЕС, через ПС, потужність НЕ потрібно обирати спираючись на отримані дані щодо сумарної накопиченої електроенергії за день. В даній ситуації потужність НЕ не повинна бути меншою за $E = 4174,756$ кВт·год, дане значення приводимо до найближчого стандартного $E = 4200$ кВт·год.

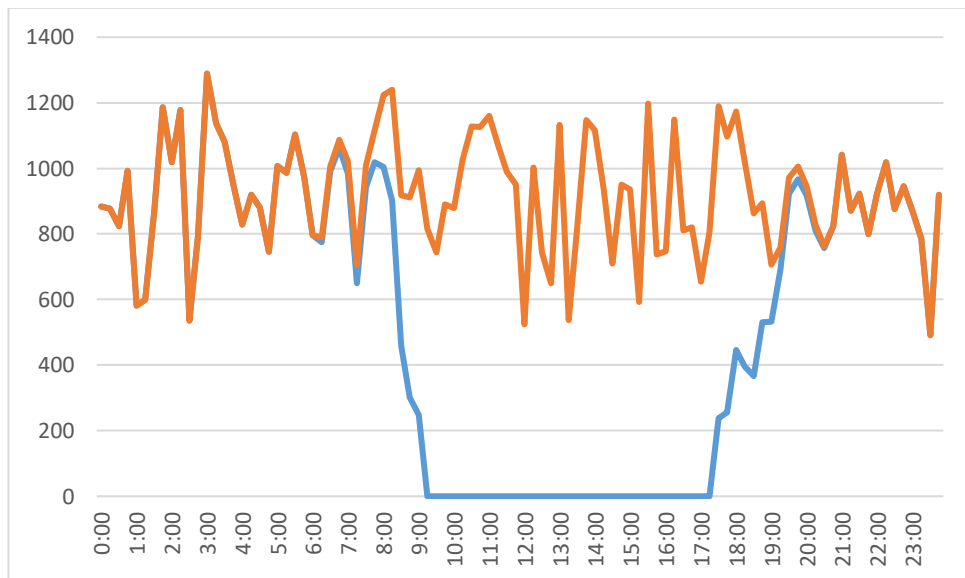


Рисунок 3.3 – Графік виконання обмеження ОСР щодо перетоку потужності

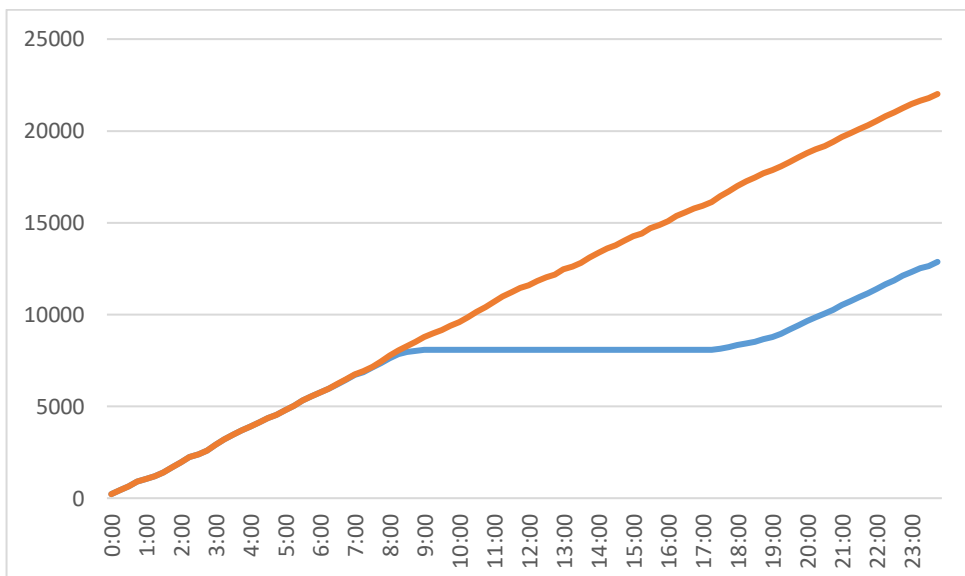


Рисунок 3.3 – Порівняльний графік споживання електроенергії з СЕС та без неї в обраній ділянці мережі

3.2 Розрахунок сценарію при умові дотримання встановленого/фіксованого ГЕН

В підрозділі наведені таблиці, а саме 3.7 – 3.8, являються скороченими. Розрахунок та аналіз даних наведений для таблиць, які представлені в додатках Е.7 – Е.8.

В даному пункті розглядається сценарій, при якому ОСР встановлює вимогу до графіку навантаження, в якості якого виступають 4 споживача наведенні в таблиці Е.1.

Таблиця 3.7 – Графік навантаження на ПС (розширена таблиця наведена в додатку Е таблиця Е.7)

Час, Т	Навантаження Р, кВт	Споживання за інтервал часу E_i , кВт·год
0:00	730	182,5
1:00	908	227
2:00	708	177
3:00	1097	274,25
4:00	940	235
5:00	689	172,25
6:00	787	196,75
7:00	825	206,25
8:00	951	237,75
9:00	841	210,25
10:00	723	180,75
11:00	948	237
12:00	683	170,75
13:00	751	187,75
14:00	1023	255,75
15:00	1157	289,25
16:00	764	191
17:00	672	168
18:00	699	174,75

19:00	1103	275,75
20:00	1010	252,5
21:00	612	153
22:00	1123	280,75
23:00	871	217,75

З таблиці Е.7 можна знайти мінімальне $P_{min} = 540,1$ кВт та максимальне $P_{max} = 1160,1$ кВт навантаження, а також загальну кількість відпущеної електроенергії з шин ПС повинна бути $E = 20816,5$ кВт·год за добу.

З метою дотримання встановленого графіку навантаження (див. рис. 3.4) на ПС що є точкою забезпечення потужності для 4 споживачів (див. табл. Е.1) та СЕС (див. табл. Е.3) необхідно інтегрувати в структуру СЕС НЕ.

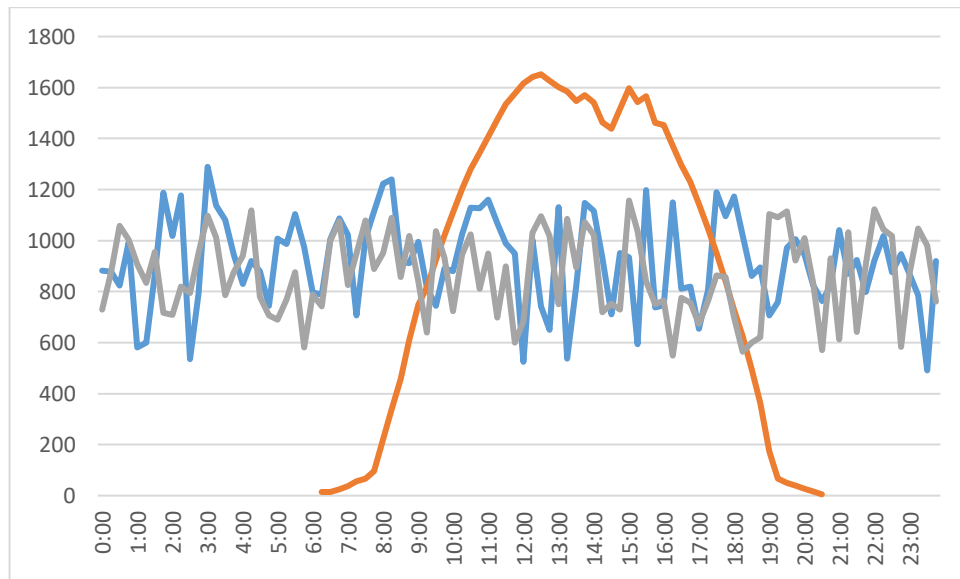


Рисунок 3.6 – Суміщений графік навантаження та генерації (ПС+СЕС) в обраній ділянці розподільної мережі

Розрахуємо навантаження в момент часу на клемах НЕ за формулою 3.6.

$$P_{HE} = P_{ПС} - P_1 - P_2 - P_3 - P_4 + P_{СЕС} \quad (3.6)$$

Враховуючи встановленні обмеження по споживанню електроенергії з шин ПС (див. табл. Е.7 та див. рис. 3.6), тому в таблиці Е.8, а також на

рисунках 3.5 та 3.6 відображено процес «заряд-розряд» накопичувача електроенергії, задля балансування в обраній ділянці розподільної мережі.

В таблиці 3.8 наявні як додатні, так і від'ємні значення. Додатні значення відображають процес заряду НЕ за рахунок появи надлишку потужності, від'ємні значення навпаки, відображають процес розряду НЕ за рахунок нестачі потужності в системі.

Таблиця 3.8 – Кількість накопиченої– відданої електроенергії в акумуляторах

Час, Т	Накопичена– віддана потужність Р, кВт	Накопичена електроенергія за період E_i , кВт·год	Сумарна накопичена електроенергія в момент часу Е, кВт·год
0:00	153	38,25	38,25
1:00	-327	-81,75	-43,5
2:00	310	77,5	34
3:00	192	48	82
4:00	-111	-27,75	54,25
5:00	318	79,5	133,75
6:00	9	2,25	136
7:00	197	49,25	185,25
8:00	273	68,25	253,5
9:00	154	38,5	292
10:00	156	39	331
11:00	213	53,25	384,25
12:00	-159	-39,75	344,5
13:00	381	95,25	439,75
14:00	94	23,5	463,25
15:00	-222	-55,5	407,75
16:00	-17	-4,25	403,5
17:00	-18	-4,5	399
18:00	474	118,5	517,5
19:00	-397	-99,25	418,25
20:00	-65	-16,25	402
21:00	430	107,5	509,5
22:00	-201	-50,25	459,25
23:00	-4	-1	458,25

Проаналізувавши наведенні дані в таблиці Е.8 можна побачити графік роботи НЕ, його заряд та розряд відповідно $E_{max} = 1428,5$ кВт·год, $E_{min} = -184,5$ кВт·год.

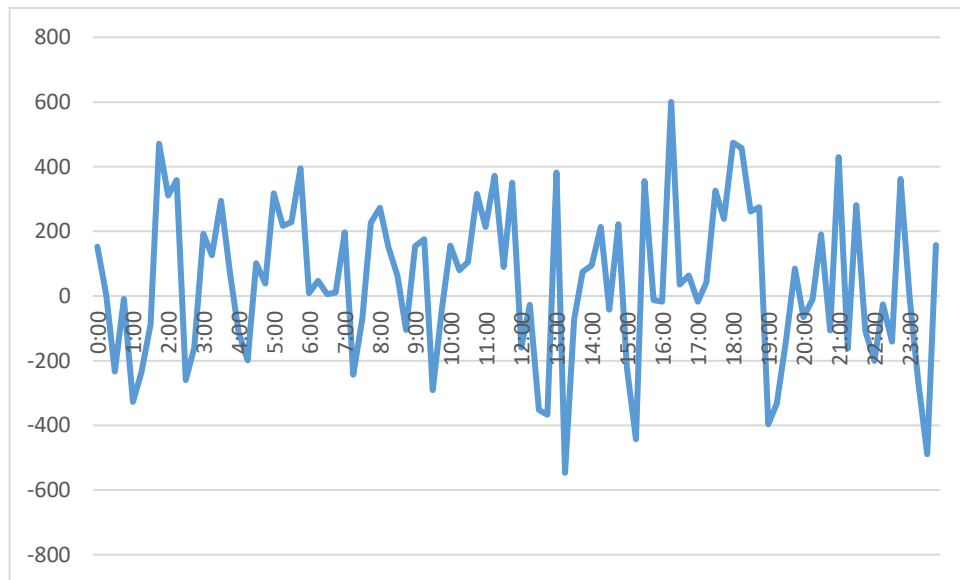


Рисунок 3.5 – Процес заряду та розряду НЕ (потужність)

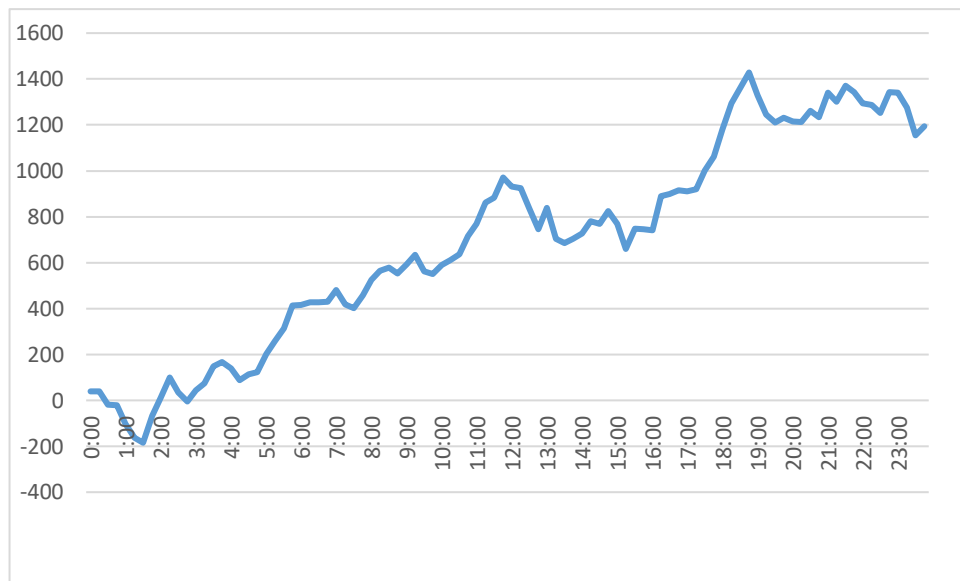


Рисунок 3.6 – Процес заряду та розряду НЕ (кількість електроенергії)

Керуючись значеннями заряду та розряду, які представлені в таблиці 3.8, можна виконати розрахунок для отримання даних щодо необхідної потужності НЕ, для цього використовуємо формулу 2.16 яка наведена в підпункті 2.3

$$\begin{aligned}
 E_{\text{НЕ}} &\geq \max \left[\frac{Q_{\text{max}} - Q_{\text{min}}}{NRM}; \frac{Q_{\text{min}}}{MSOC} \right] = \max \left[\frac{1428,5 - (-184,5)}{0,9}; \frac{-184,5}{0,1} \right] = \\
 &= \max \left[\frac{1428,5 - (-184,5)}{0,9}; \frac{-184,5}{0,1} \right] = \max[1792,22; -1845] = \\
 &= 1792,22 \text{ кВт}\cdot\text{год}
 \end{aligned}$$

За результатом розрахунку можна обрати НЕ оптимальної стандартної потужності $E_{HE} = 1800$ кВт·год.

Висновок до розділу

В представленому розділі проведено розрахунок оптимізації структури ОСР за декількома сценаріями:

- в першому сценарії розглянута ситуацію коли ОСР встановлює обмеження по можливому перетоку потужності згенерованої СЕС через ПС;

- в другому сценарії розглядається ситуація, при якій ОСР встановлює вимогу до графіку навантаження.

які були описані в підрозділах 2.1 та 2.2. За допомогою алгоритму розрахунку оптимальної ємності накопичувача для комплексу “відновлюване джерело-акумулятор”, для кожного з сценарію обраний НЕ оптимальної потужності, що дозволяє забезпечити оптимальні показники якості електроенергії в ОСР.

4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ НА ОСНОВІ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Мета та завдання розділу

Основною метою розділу магістерської дисертації «Розроблення стартап – проекту» є формування інноваційного мислення, підприємницького духу та формування здібностей щодо оцінювання ринкових перспектив і можливостей комерціалізації основних науково – технічних розробок, сформованих у попередній частині роботи у вигляді розроблення концепції стартап-проекту в умовах висококонкурентної ринкової економіки глобалізаційних процесів [26].

Основним завданням розділу є маркетинговий аналіз перспектив реалізації запропонованих магістрантом науково-технічних рішень та пропозицій, оцінювання можливостей впровадження їх на ринку.

Мета розроблення стартап–проекту: підвищення якості електричної енергії, відпущеної ФЕС, шляхом оптимізації структури електроустановок ФЕС.

Проаналізувавши результати, приведені в даній роботі, що стосується оптимізації структури електроустановок ФЕС, за рахунок якої можливе підвищення якості електричної енергії, включаючи різні методи, в тому числі і керування попитом/пропозицією, внесення змін в проекти, компенсація реактивної потужності та акумулювання електроенергії. Звідси можна зробити висновок, що маючи можливість виконувати зміни в структурі ОСР, або в параметрах електроустановках ФЕС, формується потреба, в методах проведення таких змін.

Розділ 4 магістерської дисертації розглядає питання реалізації стартап-проекту наступним чином:

- потреба ринку в даному продукті, та його подальші перспективи розвитку на ньому;
- етапи розробки продукту;

- створення прототипу проекту продукту;
- шляхи впровадження на ринок;
- визначення основних переваг та конкурентоспроможності продукту;
- формування економічної стратегії просування проекту на ринку;
- залучення інвестиційних коштів для підтримки та вдосконалення проекту;
- вихід на ринок з готовою стратегією просування продукту та сформованим економічним планом на майбутнє.

4.2 Опис ідеї проекту

Ідея проекту полягає в створенні програмного забезпечення (ПЗ) для оцінки якості електроенергії до впровадження змін, шляхом розрахунку за відомими даними та для знаходження найкращого варіанту оптимізації структури ОСР або установок ФЕС, для отримання оптимальних значень показників електроенергії.

Напрямки застосування:

1. Інженерна сфера діяльності (електропостачання, енергоаудит, проектування тощо);
2. Виробники та постачальники різних сфер діяльності;
3. Кінцевий споживач

Переваги запропонованих ідей програмного забезпечення:

1. Програмного забезпечення:
 - а) зменшення часу розробки проекту;
 - б) мінімізація витрат;
 - в) зниження впливу «людського фактору»;
 - г) інтеграція ПЗ в певні системи проектування.

Враховуючи швидкий розвиток електроенергетичних систем з ВДЕ, а особливо з ФЕС, не тільки в Україні, а і у всьому світі загалом, попит на

енергоєфективне обладнання буде зростати. Такий напрямок розвитку буде потребувати наявності висококваліфікованих спеціалістів на ринку праці та відповідного ПЗ. Запропонований продукт з оцінювання якості електроенергії та надання рекомендацій щодо оптимізації структури ОСР або установок ФЕС, дасть змогу аналізувати певні фактори які впливають на якість електроенергії, та буде допомагати досягти оптимальних показників якості електроенергії.

Основною задачею розробки стартап-проекту є:

- автоматизованість проектування та аналізу функціонування ОСР;
- швидкість та ефективність розрахунків;
- ефективне використання ПЗ;
- підвищення ефективності оцінки якості електроенергії в ОСР з установками ФЕС.

4.3 Розроблення ринкової стратегії

Для впевненого представлення продукту на ринку необхідна стратегія, що передбачає в собі:

1. Загострення уваги потенційних покупців на продукті (маркетинг).
2. Конкурентоспроможність (ефективність, ціна, швидкість тощо).
3. Декілька переваг, що дають розуміння про продукт в порівнянні з продуктами конкурентів.
4. Мати певний сформований економічний план (стратегія на певний період).
5. Розроблені конкретні умови співпраці з можливими майбутніми посередниками.

Технологічні аспекти ПЗ для оцінки якості електропостачання в локальних системах будуть представлені в декількох реалізаціях:

1. Гаджети під керуванням:
 - 1.1 iOS;
 - 1.2 Android;

1.3 Windows.

2. Комп'ютерів під керуванням:

2.1 Mac;

2.2 Windows;

2.3 Linux.

Функціонування ПЗ на найрозповсюджених сучасних системах OEM робить її багатогранною в використанні, що не ставить певних рамок перед користувачем. Відсутність обмеження в використанні на операційній системі розширює коло потенційних користувачів програми, що спричинить підвищений попит, а відповідно збільшити надходження інвестиційного бюджету для підтримки, вдосконалення і розробки ПЗ.

4.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Аналіз ринкових можливостей та загроз, що використовуватимуться при впровадженні проекту на ринок, дозволяє спланувати напрямки розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та конкурентоспроможності. Для впровадження запропонованих проектів треба передбачити можливі загрози при входженні на ринок, сформулювати розвиток та стратегію для конкурентоспроможності з іншими продуктами.

4.4.1 Аналіз попиту

Спочатку проводимо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміку розвитку ринку (див. табл. 4.1). Це дозволить оцінити поріг входу на ринок та оцінити ризики, пов'язані з ним.

Таблиця 4.1 – Аналіз попиту на ринку

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1. Кількість головних гравців, од	0
2. Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає

3. Наявність обмежень для входу	Немає
4. Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	+

4.4.2 Потенційні групи клієнтів

Надалі визначається потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтований перелік вимог до товару для кожної групи (див. табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнта	Вимоги споживачів до товару
Аналіз, та обробка великих даних пов'язаних з якістю електроенергії та прогнозування необхідності вдосконалення ОСР.	ОСР з установками ФЕС	Наповнення систем генераційними потужностями	<ul style="list-style-type: none"> – створення єдиної бази – підтримка ПЗ – підтримка працездатності та своєчасне оновлення.

4.4.3 Аналіз ринкового середовища

Після визначення потенційних груп клієнтів, проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (див. табл. 4.3 та 4.4). Фактори в таблиці подаються в порядку зменшення значущості.

Таблиця 4.3 – Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1. Зміна тенденції переходу до ВДЕ	Неусвідомленість користі ПЗ, через що можливий	Запровадження дій щодо донесення інформації про

	низький попит.	користь інструменту.
2. Збільшення кількості конкурентів	Зменшення долі ринку	Зменшення ціни на ПЗ

Таблиця 4.4 – Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1. Збільшення попиту на ПЗ	Розуміння можливостей ПЗ може призвести до збільшення попиту	Розвиток автоматизованого розрахунку та розширення функцій рекомендацій щодо оптимізації
2. Технічний прогрес	Розвиток нових установок відновлюваної енергетики	Впровадження можливості виконувати розрахунки для ОСР з різними ВДЕ

4.4.4 Загальні риси конкуренції на ринку

Надалі проводиться аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку (див. табл. 4.5).

Таблиця 4.5 – Загальні риси конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Чиста конкуренції	На даний момент на ринку не представлено аналогів ПЗ.	На початку входу продукту у вигляді ПЗ на ринок конкуренція спостерігатися не буде.

2. За рівнем конкурентної боротьби – національний	Представлений продукт не має обмеження по територіальному розповсюдженню.	Продукт може охопити більшу кількість споживачів, якщо буде підтримка різними мовами.
---	---	---

Продовження таблиці 4.5

3. За галузевою ознакою – внутрішньогалузева	ПЗ може бути використано тільки для електроенергетичних систем.	Збільшення можливостей щодо зміни параметрів системи, дасть можливість охопити більшу кількість споживачів.
4. За характером конкурентних переваг – нецінова	Має платформу для розширення можливостей.	ПЗ не має обмежень по розвитку і вдосконаленню.

4.4.5 Аналіз умов конкуренції в галузі

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (див. табл. 4.6).

Таблиця 4.6 – Аналіз умов конкуренції в галузі

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Товари- замінники
------------------	---------------------------	-----------------------	---------------	-------------------

	Немає	Немає бар'єрів	В постачальниках немає необхідності	На даний час відсутні
Висновки	Конкуренції немає, монополія	Можливості входу на ринок, а також можлива поява конкурентів	Постачальники відсутні, на ринок не впливають	Відсутні обмеження на ринку через товари замінники, але в майбутньому можливі загрози

4.4.6 Фактори конкурентоспроможності

На основі аналізу конкуренції, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту, вимог споживачів до товару та факторів маркетингового середовища визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності (див. табл. 4.7).

Таблиця 4.7 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1. Широкий вибір вбудованих функцій ПЗ	ПЗ дозволяє користувачу виконувати всі дії не використовуючи інші засоби
2. Забезпечення точності	Виконання точності розрахунків може задати сам користувач
3. ПЗ розглядає ОСР по великій кількості параметрів	Запропоноване ПЗ може мати велику вбудовану базу показників якості електроенергії, тому є можливим зміна її під різні задачі

4.4.7 Аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту

За визначеними факторами конкурентоспроможності проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (див. табл. 4.8).

Таблиця 4.8 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

Фактори конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з потенційними конкурентами						
		-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1. Широкий вибір вбудованих функцій ПЗ	19						+	
2. Забезпечення точності	20							+
3. Модульність запропонованого ПЗ	20							+

4.4.8 SWOT-аналіз

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT – аналізу, матриці аналізу сильних та слабких сторін, загроз та можливостей на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (див. табл. 4.9).

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну

ймовірність здійснення. Наприклад: зниження доходів потенційних споживачів – фактор загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо посилення значущості цінового фактору при виборі товару та відповідно, – цінової конкуренції (а це вже – ринкова загроза).

Таблиця 4.9 – SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: точність розрахунків, вбудована база рекомендацій щодо оптимізацій ОСР	Слабкі сторони: витрати на створення даного ПЗ
Можливості: підвищення якості електроенергії в ОСР, зручний інтерфейс для розрахунків та аналізу стану системи	Загрози: поява конкурентів, низька швидкість росту ринку

4.4.9 Альтернативи ринкової поведінки

На основі SWOT – аналізу розробляється альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок (див. табл. 4.10).

Таблиця 4.10 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту.

Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
--	--------------------------------	-------------------

1. Створення команди	100 %	1-1,5 міс.
2. Розробка програмного забезпечення	100%	7-8 міс.
3. Тестування	100%	1 міс.
4. Вихід на ринок	60%	1-1,5 міс

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Для створення маркетингової програми потрібно визначитись з ключовими особливостями запропонованої продукції, та, можливо створення нових переваг, які будуть введені в продукти в майбутньому для розуміння клієнтом, що чекати найближчого майбутнього при купівлі продукту.

4.5.1 Формування маркетингової концепції товару

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару представлені в таблиці 4.18.

Таблиця 4.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1. Аналіз даних	Можливість постійної оцінки якості електроенергії в ОСР	Низькі інфраструктурні витрати, відкрита система, наявність інтерфейсів доступу.

2. Велике сховище файлів, що доступне з будь-якого комп'ютера мережі, де розміщені результати аналізу і т.д.	Хмарове файлове сховище	Є складовою інфраструктури, що розгортається, масштабується до будь-яких розмірів, надійна, можливість налаштування політик безпеки, шифрування даних.
3. Інтелектуалізація системи	Продуктивність виконання планово – попереджувальних та ремонтних робіт	Можливість виявлення проблемних питань функціонування мережі та пошук шляхів їх вирішення.

4.5.2 Трирівнева маркетингова модель

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару: уточнюється ідея продукту, його фізичні складові, особливості процесу його надання (див. табл. 4.19).

Таблиця 4.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Створення ПЗ для розрахунку поточної якості електроенергії, аналізу отриманих даних та запропонування рекомендацій щодо оптимізації структури ОСР.
II. Товар у реальному виконанні	
III. Товар із підкріпленням	Марка: ТОВ «РАМ».
	До продажу: демонстрація роботи
	Після продажу: підтримка за ліцензією
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: ключі активації, ліцензії.	

4.5.3 Встановлення цінових меж

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар, яке передбачає аналіз ціни на товари–аналоги або товари субститутути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (див. табл. 4.20). Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 4.20 – Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари–замінники	Рівень цін на товари–аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
–	–	350000\$	700\$ – 900\$

4.5.4 Формування системи збуту

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (див. табл. 4.21):

- проводити збут власними силами або залучення сторонніх посередників;
- вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 4.21 – Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Оформлення заявок через веб-сайт, придбання ліцензій	Постачальник відсутній	100-150 ПЗ на рік	За допомогою веб-сайту компанії

4.5.5 Концепція маркетингових комунікацій

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (див. табл. 4.22).

Таблиця 4.22 – Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Споживачу лише частково відоме призначення програмного забезпечення	Інтернет, бездротові локальні технології	Збільшення ФЕС в загальному балансі	Донесення до потенційних клієнтів переваг методу оцінювання	Be with energy always

Висновок до розділу

Запропонована ідея створення ПЗ яке за наявності вихідних даних (статистичні данні щодо якості електроенергії в розглядуваній ОСР), дозволяє проаналізувати дані та виконати розрахунок якості електроенергії, при різних

підходах щодо оптимізації та запропонує найраціональніше рішення поставленої задачі. Таке впровадження дозволяє зменшити вплив «людського фактору» на отриманий результат розрахунку. В табличному вигляді наведено переваги та області застосування запропонованих ідей. Розроблена ринкова стратегія, що спрямована на потенційного покупця, а також залучення інвесторів для подальшого просування проекту. Проведено аналіз ринкових можливостей, де отримане значення ринкової рентабельності робить ідею привабливою для інвестування коштів.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальну задачу щодо оптимізації структури установок ФЕС з метою забезпечення нормативних показників якості електричної енергії, що передбачає розробку нових методів та алгоритмів, реалізація яких дає змогу знайти найбільш ефективні рішення у процесі реформування та розвитку галузі. Основні результати дисертаційної роботи:

1. Проведено аналіз структури потужностей відновлюваних джерел енергії в енергобалансі України використовуючи інформацію з різних джерел, таких як НКРЕКП, НЕК «УкрЕнерго» та інших, як державних так і приватних компаній. Показана структура СЕС та наведена інформація по кожному компоненту. Представлена інформація щодо впливу різних факторів на ефективність роботи СЕС.

2. Запропоновані заходи та засоби для забезпечення нормативних показників ЯЕЕ. В декількох варіантах розглянуто можливості впливати на ЯЕЕ. Також запропонований алгоритм розрахунку оптимальної ємності накопичувача для комплексу “відновлюване джерело-акумулятор”.

3. Проведено розрахунок оптимізації структури ОСР за декількома сценаріями: в першому сценарії розглянута ситуацію коли ОСР встановлює обмеження по можливому перетоку потужності згенерованої СЕС через ПС; в другому сценарії розглядається ситуація, при якій ОСР встановлює вимогу до графіку навантаження. За допомогою алгоритму розрахунку оптимальної ємності накопичувача для комплексу “відновлюване джерело-акумулятор”, для кожного з сценарію обраний НЕ оптимальної потужності, що дозволяє забезпечити оптимальні показники якості електроенергії в ОСР..

4. Запропонована ідея створення ПЗ яке за наявності вихідних даних (статистичні данні щодо якості електроенергії в розглядуваній ОСР), дозволяє проаналізувати дані та виконати розрахунок якості електроенергії, при різних підходах щодо оптимізації та запропонує найраціональніше рішення

поставленої задачі. Таке впровадження дозволяє зменшити вплив «людського фактору» на отриманий результат розрахунку. В табличному вигляді наведено переваги та області застосування запропонованих ідей. Розроблена ринкова стратегія, що спрямована на потенційного покупця, а також залучення інвесторів для подальшого просування проекту. Проведено аналіз ринкових можливостей, де отримане значення ринкової рентабельності робить ідею привабливою для інвестування коштів.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кириленко О. В., Павловський В. В., Лук'яненко Л. М. Технічні аспекти впровадження джерел розподіленої генерації в електричних мережах. Технічна електродинаміка. 2011. № 1. С. 46 – 53.
2. Керування режимом роботи електростанції з відновлюваними джерелами енергії в умовах зміни частоти в енергосистемі / О. В. Кириленко та ін. Технічна електродинаміка. 2012. № 4. С. 52 – 57.
3. Комар В. О., Лесько В. О. Балансова надійність електричних систем і вплив на неї відновлюваних джерел енергії. Збірник доповідей. Міжнародна науково-технічна конференція «Екологічна безпека та відновлювані джерела енергії». Вінниця, 2017. С. 98 – 101.
4. Комар В. О., Вишневський С. Я., Кузьмик О. В. Використання показника якості функціонування при оцінюванні місць розмикання розподільної електричної мережі. Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Електротехніка і енергетика». 2011. № 11 (186). С. 182 – 185.
5. Комар В. О., Ковальчук О. А., Кузьмик О. В. Вплив розосередженого генерування на якість функціонування розподільних електричних мереж/ Технічна електродинаміка. 2012. №2. С. 34 – 35
6. Кузнєцов В. Г., Шполянський О. Г., Яремчук Н. А. Узагальнений показник якості енергії в електричних мережах і системах. Технічна електродинаміка. 2011. № 3. С. 46 – 52.
7. Лежнюк П. Д., Комар В. О., Лесько В. О., Кузьмик О. В. Оптимізація режимів розподільних електричних мереж в умовах зростання частки розосередженого генерування. Вісник харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження АПК України. 2012. № 129. С. 29 – 32.
8. Лежнюк П. Д., Комар В. О., Собчук Д. С. Оцінювання впливу на

якість функціонування локальної електричної системи відновлюваних джерел електроенергії. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження АПК України. Харків: ХНТУСГ, 2013. Випуск 141. С. 8 – 10.

9. Бодунов В. М. Урахування невизначеності щодо кількості та місць встановлення джерел розподіленої генерації при прийнятті проектних рішень // Новітні технології у науковій діяльності і навчальному процесі: Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених і студентів: тези доповідей. – Чернігів: Черніг. нац. технол. ун-т, 2015. – С. 116–117.

10. Vimalraj M. M. et al. Power Quality Improvement in a Micro WECS with Battery Storage under Critical Load Condition //International Journal of Scientific and Research Publications. – С. 485.

11. Пустовий А. М. Розрахунок оптимальної ємності накопичувача для комплексу “Відновлюване джерело-акумулятор” XVI Міжнародна конференція Контроль і управління в складних системах (КУСС-2018) Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 15-17 жовтня 2018 року.

12. Оцінка ресурсного потенціалу сонячної електроенергетики у Одеській області // Басок Б.І., Веремійчук Ю.А. – К.: «КІМ».- 2019. -250 с. ISBN 978-617-628-081-1

13. Басок Б.І., Веремійчук Ю.А., Худенко В.О. Скорочення викидів CO₂ при використанні сонячної енергетики в Одеській області. V Міжнародна науково-технічна та навчально-методична конференція Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку (PEMS'18), м. Київ; Дата проведення: 17-18 квітня 2018 ; Url - pems.kpi.ua

14. Veremiichuk Y. , Zamulko A., Zaichenko S., Mahnitko A., Berzina K., Zicmane I. “Analysis of Electric Energy Supply Security Attached to Renewable Energy Sources Implementation” X International Conference on Electrical and Power Engineering EPE 2018 Iași, Romania. October 18-19, 2018.

15. Веремійчук Ю.А., Замулко А. І., Норець М.О. Система управління безпекою постачання електроенергії. XVI Міжнародна конференція Контроль і управління в складних системах (КУСС-2018) Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 15-17 жовтня 2018 року.
16. Veremiichuk, Yurii, Ivan Prytyskach, Olena Yarmoliuk and Vitalii Opryshko "Energy Sources Selection for Industrial Enterprise Combined Power Supply System." 2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS). IEEE, 2019.
17. Підгурський І.П. Веремійчук Ю.А., Аналіз технологій накопичення електричної енергії VI Міжнародна науково-технічна та навчально-методична конференція Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку (PEMS'19), м. Київ; Дата проведення: 04-07 червня 2019; С. 72.Url - pems.kpi.ua
18. RECHARGEABLE LITHIUM-ION BATTERIES [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://enviasystems.com/technology/>
19. Jing Li J., Wei W., Xiang J.A Simple Sizing Algorithm for Stand-Alone PV/Wind/Battery Hybrid Microgrids // Energies, 2012. – V.5, p. 5307-5323. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.mdpi.com/journal/energies.
20. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.nerc.gov.ua/?id=11889>
21. НЕК «Укренерго» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ua.energy/>
22. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/>
23. Тугай Ю.І., Козирський В.В., Гай О.В., Бодунов В.М. Інтеграція поновлюваних джерел енергії в розподільні електричні мережі сільських регіонів // Технічна електродинаміка. – 2011. – №5. – С.63–67.
24. Mahat P. Control and Operation of Islanded Distribution System. – Aalborg: Aalborg University, 2010. – 174 p.

25. Відновлювальні джерела енергії у локальних об'єктах / Ю.І. Якименко, Є.І. Сокол, В.Я. Жуйков, Ю.С. Петергеря, О.Л. Іванін. – К.: ІВЦ „Політехніка”, 2001. – 114 с.
26. Денисюк С.П. Особливості оцінки якості електропостачання локальних електротехнічних систем з розосередженою генерацією [Текст] / С.П. Денисюк, Д.Г. Дерев'янка, К.Ю. Суменко // Гірництво. – 2015. – № 27. – С. 90–97.
27. Биллinton Р. Оценка надежности электроэнергетических систем / Биллinton Р., Аллам Р.; пер. с англ. В. А. Туфанова; под ред. Ю. А. Фокина. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.
28. Основні параметри енергозабезпечення національної економіки на період до 2020 року [Текст] / Б. С. Стогній, О. В. Кириленко, А. В. Праховник [і ін.]. – К.: Вид. Ін-ту електродинаміки НАН України, 2011. – 275 с.
29. Долінський А. А. Енергозбереження та екологічні проблеми енергетики: [Енергозбереження. Енергоефективність. Використання нетрадиційних джерел енергії. Енергетична безпека. Зниження негативного впливу на довкілля] [Текст] / А. А. Долінський. – Вісник Національної академії наук України. – 2006. – № 2. – С. 24–32.
30. Кириленко О. В. Технічні особливості функціонування енергосистем при інтеграції джерел розподіленої генерації [Текст] / О. В. Кириленко, І. В. Трач // Праці Інституту електродинаміки НАН України. – 2009. – Вип. 24. – С. 3–7. – ISSN 1727-9895
31. Кириленко О. В. Технічні аспекти впровадження джерел розподіленої генерації в електричних мережах [Текст] / О. В. Кириленко, В. В. Павловський, Л. М. Лук'яненко // Технічна електродинаміка. 2011. – №1. – С. 46 – 53.
32. Лежнюк П. Д. Оптимальне керування розосередженими джерелами енергії в локальній електричній системі / П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, О. А. Ковальчук [Текст] // Праці Інституту електродинаміки НАН

України. Збірник наукових праць. Спеціальний випуск. Ч. 1. – 2011. – С. 48–55. – ISSN 1727-9895.

33. Лежнюк П. Д. Определение оптимальной установленной мощности возобновляемых источников энергии в распределительной сети по критерию минимума потерь активной мощности [Текст] / П. Д. Лежнюк, В. О. Комар, Д. С. Собчук // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Електротехніка та енергетика. – № 1(16). – 2014. – С. 130–136. – ISSN 2074-2630.

34. Собчук Д. С. Використання нетрадиційних джерел енергії (НДЕ) в електроенергетичних системах для підвищення надійності та якості електропостачання [Текст] / Д. С. Собчук // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. – № 40. – 2013. – С. 261–265.

35. Надежность обеспечения баланса мощности электроэнергетических систем [Текст] / В.П. Обоскалов. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2002. – 210 с. ISBN 5-321-00256-8

36. Структурная надежность электроэнергетических систем [Текст]: Учеб. пособие / В. П. Обоскалов. – Екатеринбург: УрФУ, 2012. – 194 с. ISBN 978-5-321-02195-8

37. Лежнюк П. Д. Врахування якості функціонування розподільних систем під час їх реконструкції [Текст] / П. Д. Лежнюк, В. О. Комар, В. О. Лесько, А. Л. Поліщук // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім. Михайла Остроградського. – частина 1. – №3(56). – 2009. – с. 172-175.

38. Козирський В. В. Інтеграція поновлюваних джерел енергії в розподільні електричні мережі сільських регіонів [Текст] / В. В. Козирський, Ю. І. Тугай, В. М. Бодунов, О. В. Гай // Технічна електродинаміка. – 2011. – №5. – С. 63–67. – ISSN 0204-3599.

39. Паливно-енергетичний комплекс України в контексті глобальних енергетичних перетворень / [Шидловський А.К., Стогній Б.С., Кулик М.М. та ін.] – Київ: Українські енциклопедичні знання, 2004. – 468 с.

40. Денисюк С.П. Оцінка ефективності сумісної роботи розосереджених джерел генерації електроенергії, включаючи відновлювальні, в електроенергетичних системах [Текст] / С.П. Денисюк, Т.М. Базюк, Д.Г. Дерев'янка // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2013. – № 3(80). – С. 54–59.

41. Комар В. О.: «Оцінювання якості функціонування електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії». Магістерська кваліфікаційна робота - Львів: ВНТУ, 2019. – 339 с.,

42. Д.В. Федоров, А.С. Федорова: «Распределенная генерация электрической энергии: показатели качества и потери мощности» Наука и молодёжь в XXI веке Омск: 2016. – 73-76 с.,

43. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1999. – 30с

44. Постанова НКРЕКП № 1991 "Про встановлення «зелених» тарифів на електричну енергію та надбавки до «зелених» тарифів за дотримання рівня використання обладнання українського виробництва для суб'єктів господарювання" [Електронний ресурс] // НАЦІОНАЛЬНА КОМІСІЯ, ЩО ЗДІЙСНЮЄ ДЕРЖАВНЕ РЕГУЛЮВАННЯ У СФЕРАХ ЕНЕРГЕТИКИ ТА КОМУНАЛЬНИХ ПОСЛУГ (НКРЕКП). – 2409. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.nerc.gov.ua/index.php?id=44630>.

45. LCOE ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ [Електронний ресурс] // CEL. – 2018.

46. Жаринов В. А. Разработка стенда, моделирующего работу солнечной электростанции: дис. техн. наук : 13.03.02.04 / Жаринов В. А. – Красноярск, 2018. – 85 с.

47. Григораш О. В. КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ПОСТРОЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ / О. В. Григораш. // Научный журнал КубГАУ. – 2016.